

N° d'ordre 2267

Série A

N° série 1402

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS-SCIENCES NATURELLES

PAR

Antony FAMIN

AGRÉGÉ DES SCIENCES NATURELLES

PROFESSEUR AUX ÉCOLES ARAGO ET LAVOISIER

1^{re} THÈSE. — ACTION DE LA TEMPÉRATURE SUR LES VÉGÉTAUX.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 27 JUIN 1933, 1933, devant la Commission d'examen

MM. M. MOLLIARD..... *Président*

LAUGIER.....) *Examineurs.*

LANQUINE.....)

PARIS

LIBRAIRIE GÉNÉRALE DE L'ENSEIGNEMENT

4, RUE DANTE, 4

1933

**ACTION DE LA TEMPÉRATURE
SUR LES VÉGÉTAUX**

Faculté des Sciences de l'Université de Paris

MM.

Doyen..... C. MAURAIN, *Professeur*, Physique du globe.
Doyen honoraire... M. MOLLIARD.

*Professeurs
honoraire*

H. LE CHATELIER.
H. LEBESGUE.
A. FERNBACH.
A. LEDUC.
Emile PICARD.
Rémy PERRIER.
Léon BRILLOUIN.
A. DEREIMS.

E. GOURSAT... Analyse supérieure et algèbre supérieure.
P. JANET... Electrotechnique générale.
F. WALLERANT... Minéralogie.
P. PAINLEVÉ... Mécanique analytique et mécanique céleste.
M. CAULLERY... Zoologie (Évolution des êtres organisés).
Emile BOREL... Calcul des probabilités et Physique mathém.
H. ABRAHAM... Physique.
M. MOLLIARD... Physiologie végétale.
E. CARTAN... Géométrie supérieure.
Gabriel BERTRAND... Chimie biologique.
Jean PERRIN... Chimie physique.
L. LAPICQUE... Physiologie générale.
M^{me} P. CURIE... Physique générale et radioactivité.
G. URRAIN... Chimie générale.
L. MARCHIS... Aviation.
E. VESSIOT... Théorie des fonctions et théorie des transformations.

Professeurs

A. COTTON... Physique générale.
J. DRACH... Application de l'analyse à la géométrie.
Charles FABRY... Physique.
R. LESPIEAU... Théories chimiques.
P. PORTIER... Physiologie comparée.
Charles PÉREZ... Zoologie.
É. BLAISE... Chimie organique.
P.-A. DANGEARD... Botanique.
Léon BERTRAND... Géologie structurale et géologie appliquée.
E. RABAUD... Biologie expérimentale.
G. JULIA... Calcul différentiel et Calcul intégral.
Paul MONTEL... Mécanique rationnelle.
V. AUGER... Chimie appliquée.
P. WINTREBERT... Anatomie et histologie comparées.
O. DUBOSQ... Biologie maritime.
Eugène BLOCH... Physique théorique et physique céleste.
L. LUTAUD... Géographie physique et géologie dynamique.
Henri VILLAT... Mécanique des fluides et applications.
Ch. JACOB... Géologie.
P. PASCAL... Chimie minérale.
E. ESCLANGON... Astronomie.
H. BÉNARD... Mécanique expérimentale des fluides.
C. MAUGUIN... Minéralogie.
L. BLARINGHEM... Botanique.
A. GUILLIERMOND... Botanique (P.C.N.).
A. DENJOY... Mathématiques générales.
A. DUFOUR... Physique (P. C. N.).
H. BÉGIN... Mécanique physique et expérimentale.
De BROGLIE... Théories physiques.

E. PÉCHARD... Chimie (Enseig^t. P.C.N.)
A. GUILLET... Physique.
M. GUICHARD... Chimie minérale.
A. MICHEL-LÉVY... Pétrographie.
H. MOUTON... Chimie physique.
L. DUNOYER... Optique appliquée.
M. JAVILLIER... Chimie biologique.
ROBERT-LÉVY... Zoologie.
A. DEBIERNE... Radioactivité.
E. DARMOIS... Physique.
G. BRUHAT... Physique.
F. PICARD... Zoologie (Évolution des êtres organisés).
L. JOLEAUD... Paléontologie.
M. FRÉCHET... Calcul des Probabilités et Physiques mathématiques.
M^{me} RAMART-LUCAS Chimie organique

FOCH... Mécanique expérimentale des fluides.
PAUTHENIER... Physique (P.C.N.).
VILLEY... Mécanique physique et expérimentale.
LABROUSTE... Physique du Globe.
FREUNDLER... Chimie générale.
PRENANT... Zoologie.
P. JOB... Chimie appliquée.
CHRÉTIEN... Zoologie (P. C. N.).
BOHN... Chimie (P.C.N.).
COMBES... Sciences natur. (P.C.N.).
GARNIER... Mécanique rationnelle.
PÈRES... Mécanique des fluides.
LAUGIER... Physiologie générale.
TOUSSAINT... Technique Aéronaut.
HACKSPILL... Chimie (P. C. N.).
M. CURIE... Physique (P. C. N.).

Secrétaire..... A. PACAUD.
Secrétaire honoraire... D. TOMBECK.

N° d'ordre 2267

Série A

N° série 1402

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTE DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITE DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS-SCIENCES NATURELLES

PAR

Antony FAMIN

AGRÉGÉ DES SCIENCES NATURELLES

PROFESSEUR AUX ÉCOLES ARAGO ET LAVOISIER

1^{re} THÈSE. — ACTION DE LA TEMPÉRATURE SUR LES VÉGÉTAUX.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 1933, devant la Commission d'examen

MM. M. MOLLIARD.....	<i>Président</i>
LAUGIER.....)	<i>Examineurs.</i>
LANQUINE.....)	

PARIS

LIBRAIRIE GÉNÉRALE DE L'ENSEIGNEMENT

4, RUE DANTE, 4

1933



INTRODUCTION

L'influence des variations de température sur les êtres vivants et, en particulier, sur les végétaux, est considérable. Il n'est pas de fonction ni de partie de la plante qui ne soient profondément touchées. Les formes elles-mêmes sont modifiées.

C'est également un facteur facilement réglable dont on est apparemment maître. C'est donc, par suite, un moyen expérimental tentant, d'autant plus que les réactions auxquelles il donne lieu sont souvent mesurables. Si on envisage les résultats globaux, son action paraît simple. Si on y regarde de plus près, on constate qu'elle est en réalité fort complexe, comme est complexe la matière vivante soumise à ses effets.

C'est en nous rendant compte de cette très grande complication de la question que nous nous sommes engagé dans notre travail. Il a son origine dans une étude faite sur une Mucorinée, le *Rhizopus nigricans*, à des températures croissantes et présentée comme Diplôme d'études supérieures (31 a). Il en ressortait que la forme, le contenu cellulaire et le chimisme du Champignon étaient fortement modifiés par la chaleur.

Nous avons étendu nos recherches, dans le même esprit, à certaines plantes supérieures, en examinant la croissance de ces végétaux aux températures encore compatibles avec la vie ; puis, en étudiant successivement, d'une manière toute analytique, quelques-unes des actions permettant de comprendre l'inhibition végétative due à la chaleur : action sur la cellule (protoplasme et noyau), action sur les échanges chimiques avec le milieu ambiant.

Nous avons également pensé qu'à ce double point de vue, le milieu thermal, si spécial et si curieux, constituant une expérience naturelle toute faite, pourrait nous fournir d'utiles termes de comparaison. Notre déception a été complète : les sources chaudes ne contiennent en effet que des Algues bleues et des Dia-

tomées, organismes dont l'étude cellulaire ne pouvait donner lieu à une confrontation utile avec les plantes précédemment examinées. Un essai sur leur comportement chimique a été, toutefois, tenté. Nous avons cependant retenu les constatations faites, et nous les rapporterons dans notre travail, d'une part parce qu'elles sont nouvelles, pour la France du moins et, d'autre part, parce qu'elles nous fournissent sur ces organismes à habitat et à vie si particuliers de nombreux renseignements intéressants.

Voici donc les différents points que nous avons examinés :

1^o Température et croissance chez *Pisum sativum* ;

2^o Température et constituants cellulaires (protoplasme et noyau) ;

3^o Température et échanges chimiques avec le milieu chez *Pisum sativum* ;

4^o Le milieu thermal : étude systématique de quelques stations françaises. Essai d'une étude expérimentale d'Algues thermales.

5^o Conclusions générales.

Ces recherches ont été effectuées, pour leur plus grande partie, au Laboratoire de Physiologie végétale de la Sorbonne, sous la haute direction de M. le Professeur MOLLIARD. C'est à lui que je dois, dès ma sortie de l'Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement primaire de Saint-Cloud, de m'être adonné aux études supérieures, puis à la recherche scientifique. Jamais, depuis ce temps, l'intérêt qu'il m'a porté ne s'est démenti. Qu'il veuille bien accepter ici l'expression de mon affectueuse gratitude et de mon sincère attachement.

M. le Professeur GUILLIERMOND m'a reçu dans son laboratoire avec son affabilité coutumière, et il m'a fait profiter de sa grande expérience de cytologiste et de son inépuisable documentation. Je lui en suis très reconnaissant, comme je le suis à ceux de ses élèves qui me furent des guides compétents : Mme HUREL, MM. MANGENOT et EICHHORN.

L'étude des Algues thermales m'a amené à consulter l'herbier THURET au Laboratoire de Cryptogamie du Muséum d'Histoire Naturelle. Je remercie M. le Professeur MANGIN de l'hospitalité qui m'y fut offerte. Mais je suis également débiteur envers M. le Professeur ALLORGE qui, d'une façon toute spontanée, m'a

confié sur ce sujet une documentation unique. Je lui en exprime toute ma vive reconnaissance.

M. le Professeur COMBES a volontiers mis à ma disposition l'appareillage fragile de stérilisation des graines, ainsi que sa grande expérience de biologiste. Je l'en remercie sincèrement.

Ma gratitude va également aux travailleurs du Laboratoire, à M. CRÉPIN, en particulier, Chef des Travaux pratiques, dont chacun apprécie l'égalité de caractère, la serviabilité et les connaissances variées, à M. MICHEL-DURAND, qui me reçut aimablement au Laboratoire de Biologie végétale de Fontainebleau, à MM. ECHEVIN, PONTILLON, QUETEL, dont les suggestions au cours de discussions et de conversations, me furent précieuses.

Je remercie la Caisse des Recherches scientifiques des subventions qu'elle voulut bien m'accorder pour mener à bien ce travail.

Une particulière reconnaissance va à l'Ecole Normale supérieure d'Enseignement primaire de Saint-Cloud. Les deux années que j'y ai passées furent déterminantes de mon orientation, et renfermèrent en germe ce que j'ai pu faire depuis. J'exprime ma respectueuse gratitude à MM. LECONTE, Directeur de l'Enseignement Primaire de la Seine, PÉCAUT, Directeur de l'Ecole, Inspecteurs généraux de l'Instruction publique, pour l'appui sans réserve qu'ils voulurent bien me donner, ce qui me permit d'accorder mon désir de la recherche avec les nécessités d'un service d'enseignement chargé.

PREMIÈRE PARTIE

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LA CROISSANCE DE *PISUM SATIVUM*

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE

La détermination du maximum de température permettant la germination, et l'influence de l'élévation de cette température sur la croissance des plantes ont, depuis longtemps, été étudiées.

Le premier travail d'ensemble est dû à SACHS (87) : il mesure la longueur de la racine principale au bout de 48 heures, et trouve, pour le Pois, un optimum voisin de 22° C. Ce nombre est certainement trop faible, tant à cause de la courte durée de l'expérience que de l'importance des variations individuelles.

KÖPPEN (52), reprenant ce travail et étudiant le développement de la même plante de 10° à 40°, trouve, au bout de 48 heures également, les accroissements suivants :

TEMPÉRATURES	ACCROISSEMENTS EN MM.
17°	5,3
21°4	25,5
24°5	30
25°6	27,8
26°6	53,9
28°5	40,4
32°2	38,5
31°1	38,9
36°5	8,7
39°6	—

En même temps qu'un optimum 26°6, l'auteur indique un maximum : la graine ne germe pas à 39°6.

Plus récemment, LEITCH (58), après un examen critique des travaux antérieurs, étudie l'action de la température sur le même matériel, après des temps variés : une demi-heure, 22 heures 1/2 et quelques jours. Il conclut que la relation entre la croissance et la température peut être exprimée par une courbe uniforme de 2° à 29° ; au-dessus de 29°, cette courbe ne peut être prolongée et on doit lui en substituer une autre qui n'est plus une fonction simple du temps. Il existe une période de grand allongement (« Grande Période ») : à 14°, elle se produit trois jours après l'ensemencement, à 23°, deux jours après. Le point minimum de croissance est — 2°, le maximum 44°5, l'optimum est compris entre 28 et 30°. L'action la plus considérable se fait sentir à 30°,3.

Nous n'avons étudié que les températures comprises entre 29° et 36° ; ce sont en effet celles qui sont les plus intéressantes à notre point de vue, car elles ont une action énorme sur le développement. Au-delà de 36°, il a été impossible d'obtenir la germination. La croissance à 22°, température moyenne d'été du Laboratoire, a été prise comme terme de comparaison.

CHAPITRE II

TECHNIQUE

Quand on opère dans de telles conditions, il est absolument nécessaire de mettre les plantules à l'abri de toutes les contaminations. Les fermentations microbiennes deviennent rapides à partir de 30°, ainsi d'ailleurs que le développement des Moisissures. Comme il est possible que, suivant leur nature, les micro-organismes et leurs sécrétions aient une action soit activante, soit retardatrice sur la croissance, il y a là une cause d'erreur qu'il faut éviter. Et puis, il faut éviter également la putréfaction. Il est donc nécessaire d'effectuer des cultures bactériologiquement pures.

La méthode employée est tirée de celles qu'utilisèrent MOLLIARD (70a) et COMBES (11). L'appareil décrit et figuré par cet auteur (fig. 4, p. 139 de son mémoire) a été fortement simplifié.

Description de l'appareil utilisé.

Il se compose d'un ballon à fond plat d'un litre en verre Pyrex, B, fermé par un bouchon de caoutchouc (b) à deux trous (fig. 1). Par l'un de ces orifices passe un tube coudé T, effilé à l'extrémité se trouvant dans le ballon et plongeant jusqu'au fond : il permet à la pression de l'air intérieur d'être constamment égale à celle de l'atmosphère. L'air qui pénètre dans le récipient est filtré à l'entrée du tube sur un tampon d'ouate stérilisée. Par le second orifice, un second tube T' assure l'écoulement à volonté de l'eau stérile par une canalisation de caoutchouc muni d'une pince à vis V vers un cylindre également de verre Pyrex S, de 22 centimètres de haut et de 3 centimètres de diamètre. Obturé à sa partie supérieure par un tampon de coton stérilisé, il l'est à sa partie inférieure par un bouchon de caoutchouc à deux trous, l'un (1) permet-

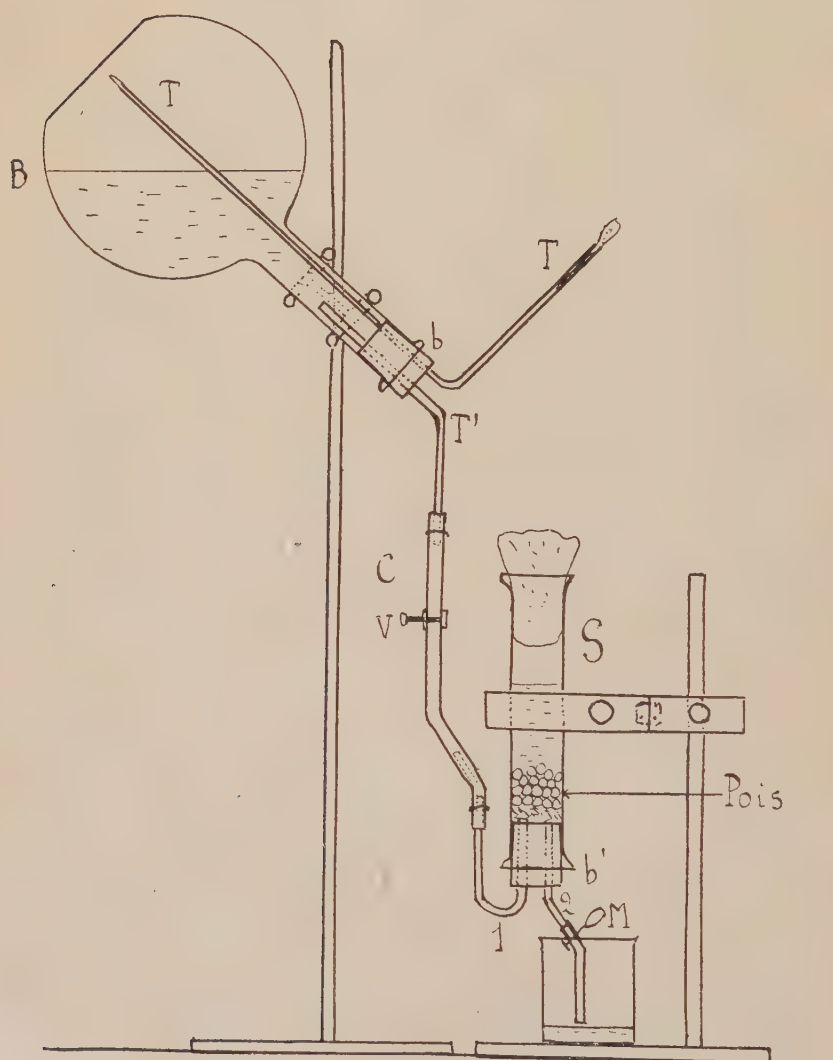


Fig. 1. — Appareil de stérilisation.

tant l'arrivée de l'eau du ballon, l'autre (2), le départ facile et rapide des liquides de lavage, grâce à un tube de caoutchouc, muni d'une pince de MOHR M. Deux supports convenables permettent de disposer l'ensemble comme l'indique la figure 1.

On a, au préalable, rempli le ballon presque entièrement d'eau distillée, monté l'ensemble et, après avoir muni chaque ouverture de tampons de coton recouverts d'un capuchon de verre, on a stérilisé 30 minutes à l'autoclave à 120°.

Stérilisation et lavage des graines.

Quarante à quarante-cinq graines de Pois (Pois Caractacus, de chez Vilmorin) sont choisies parmi celles dont le tégument paraît absolument intact, et mises dans un tube à essais stérile et sec.

On leur fait subir le traitement suivant :

1° Immersion durant 15 secondes dans de l'alcool absolu, qui assure une déshydratation de l'enveloppe, en même temps qu'un début de stérilisation.

2° Action durant une minute $1/2$ d'une solution de sublimé à 1 % dans de l'eau salée également à 1 %.

3° Transvasement rapide des graines et du sublimé dans le tube S, suivi d'une série de lavages méthodiques (plusieurs eaux sont vivement admises, puis évacuées, ensuite le contact est maintenu successivement durant $1/2$, 1, 3, 5, 10, 30 minutes, 1, 2 heures, etc...). Les Pois peuvent, avec avantage, rester une nuit entière dans la dernière eau de lavage : cette dernière en détermine le gonflement, et favorise, par suite, leur germination. $3/4$ de litre d'eau stérile sont à peu près nécessaires à ces opérations, qui doivent être faites avec le plus grand soin sous peine d'échec certain.

Les graines, prises à l'aide de pinces à longues branches, passées dans la flamme d'un bec Bunsen, sont disposées dans des tubes munis d'une bande de coton hydrophile mouillé, et préalablement stérilisés. Lorsque la radicule atteint environ 20 millimètres, elles sont transportées, toujours aseptiquement, dans de longs tubes à essais, étranglés en leur milieu et retenant ainsi les jeunes plantules.

Dans les études de croissance, et dans quelques-unes de cyto-logie qui suivront, le liquide nutritif employé a été le milieu de KNOP,

suivant la formule indiquée par MOLLIARD (70, c. T. 1, p. 85) (1) dilué au 1/20. Stérilisé dans un vase d'ERLEMMAYER de deux litres, ce liquide est transvasé sans contamination dans les tubes de culture.

Mesures des organes observés

Seules, les croissances de la racine et de la tige principale ont été mesurées. Pour cela, la plante, maintenue dans son milieu, était dessinée en vraie grandeur à l'aide d'un dispositif élémentaire utilisant une chambre claire de microscope ; et les longueurs étaient déterminées ensuite sur la figure à l'aide d'un curvimètre.

D'une façon générale, quand on soumet les plantules à un éclairage assez peu intense, et que l'on tourne régulièrement les cultures de façon à assurer l'égalité de cet éclairage, les mesures sont faciles. D'autre part, les températures étudiées donnent des différences suffisantes pour que les causes d'erreurs dues à l'évaluation des longueurs disparaissent devant les variations déterminées par la chaleur.

Les plantes étaient mises à végéter dans des étuves de ROUX vitrées, et les températures, vérifiées avec des thermomètres enregistreurs, se sont révélées pratiquement invariables pour un réglage défini.

(1) Liquide de Knop

Eau	1.000
Nitrate de calcium	1 g.
Nitrate de potasse	0 g. 25
Phosphate monopotassique	0 g. 25
Sulfate de magnésium	0 g. 25
Phosphate de fer	traces

CHAPITRE III

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Croissance. — Tableaux I, II, III. Graphiques 1 et 2.

Les mesures que nous rapportons ici sont prises parmi un grand nombre d'autres. De multiples cultures, pour des fins diverses, ont été faites, et ont confirmé ces résultats. Les températures cruciales et l'allure des variations sont absolument les mêmes chez le Pois et chez la Fève, ce qui nous a permis de choisir ce dernier végétal pour les études sur le noyau.

L'examen des nombres et des courbes qui en dérivent, montre tout d'abord qu'à la température de 22°, la végétation est rapide, régulière et normale dans le temps, avec une « Grande Période » de développement située entre le 5^e et le 7^e jour ; il en est une autre pendant les premières 24 heures, mais elle est due sans doute à un gonflement des tissus. LEITCH (58), à 23°, la trouve le deuxième jour, c'est-à-dire beaucoup plus tôt. A partir du huitième jour, l'allongement devient sensiblement linéaire.

A 29°, il y a, au moins durant les dix premiers jours, une accélération de la croissance et de l'allongement de la racine et de la tige principales. Mais cette dernière perd, vers le 7^e jour, son avance, tandis que cela est beaucoup plus tardif pour la racine (vers le 12^e jour seulement). Pour cette racine, il y a deux grandes périodes : la première vers la 27^e heure, la seconde vers le 4^e jour. Enfin, au fur et à mesure que le temps passe, l'accroissement moyen horaire diminue pour devenir presque nul vers le 15^e jour.

A 32°, après une première période où l'accroissement est plus rapide (5 jours environ), survient un ralentissement extrêmement net. La « Grande Période » se situe vers le 2^e jour 1/2. La tige, plus directement atteinte que la racine, n'acquiert qu'un très faible développement, après une courte et légère accélération.

TABLEAU I

Croissance de *Pisum sativum*

DEGRÉS C	TEMPS EN HEURES	LONG. EN MM		ACCROISSEMENTS		DURÉE EN HEURES	ACCROIS. HOR. EN MM	
		RACINE	TIGE	RACINE	TIGE		RACINE	TIGE
22°	24	4	2	8	—	15	0,53	—
—	39	12	2			24	0,42	—
—	63	22	3	10	1	55	0,24	0,15
—	118	35	11	13	8	19	0,9	0,33
—	137	52	17	17	6	24	0,9	0,38
—	161	73	26	21	9	24	0,25	0,25
—	185	79	32	6	6	24	0,37	0,66
—	209	88	48	9	16	31	0,13	0,1
—	240	92	51	4	3	24	0,25	0,25
—	264	98	57	6	6	22	0,27	0,41
—	286	104	66	6	9	24	0,25	0,21
—	310	110	71	6	5	22	0,25	0,46
—	334	122	82	6	11			
29°	24	8	—	9	—	7	1,3	—
—	31	17	3	23	4	22	1,05	0,2
—	53	40	7			19	0,63	0,32
—	72	52	13	12	6	8	0,5	0,125
—	80	56	14	4	1	20	0,7	0,15
—	100	70	17	14	3	20	0,45	0,15
—	120	79	20	9	3	30	0,2	0,2
—	150	85	24	6	4	18	0,4	0,17
—	168	92	27	7	3	24	0,33	0,04
—	192	100	28	8	1	28	0,07	0,18
—	220	102	33	2	5	23	0,09	0,3
—	243	104	40	2	7	25	0,12	0,12
—	268	107	43	3	3	20	0,05	0,05
—	288	108	44	1	1	29	0,02	0,03
—	317	108,5	45	0,5	1	27	0,02	0,03
—	344	109	46	0,5	1			

TABLEAU II
Croissance de *Pisum sativum*

DEGRÉS C	TEMPS EN HEURES	LONG. EN MM		ACCROISSEMENTS		DURÉE EN HEURES	ACCROIS. HOR. EN MM	
		RACINE	TIGE	RACINE	TIGE		RACINE	TIGE
32°	23	8	2	10	1	24	0,42	0,04
—	47	18	3		3	24	0,46	0,13
—	71	29	6	9	3	34	0,26	0,09
—	105	38	9	3	7	15	0,2	0,47
—	120	41	16	3	1	27	0,11	0,04
—	147	44	17	2	1	19	0,10	0,05
—	166	46	18	4	1	21	0,17	0,04
—	190	50	19	2	2	24	0,08	0,08
—	214	52	21	6	1	23	0,26	0,04
—	237	58	22	4	1	17	0,23	0,06
—	264	62	23	6	1	26	0,23	0,04
—	290	68	24	3	1	27	0,11	0,04
—	317	71	25	2	1	23	0,09	0,04
—	340	73	26					
33 1/2	27	4	2	7	—	21	0,33	—
—	48	11	2	11	—	28	0,4	—
—	76	22	2	1	1	20	0,05	0,05
—	96	23	3	1	1	24	0,04	0,04
—	120	24	4	1	2	24	0,04	0,08
—	144	25	6	1	4	24	0,04	0,17
—	168	26	10	1	1	24	0,04	0,04
—	192	27	11	2	2	54	0,04	0,08
—	246	29	13	1	2	23	0,04	0,08
—	269	30	15	2	0	24	0,08	—
—	293	32	15	1	0	24	0,04	—
—	317	33	15	1	0	24	0,04	—
—	341	34	15					

TABLEAU III

Croissance de *Pisum sativum*

DEGRÉS C.	TEMPS EN HEURES	LONG. EN MM		ACCROISSEMENTS		DURÉES EN HEURES	ACCROIS. HOR. EN MM	
		RACINE	TIGE	RACINE	TIGE		RACINE	TIGE
35°	24	4	2	4	—	28	0,14	—
—	52	8	2	15	—	20	0,75	—
—	72	23	2	1	—	28	0,035	—
—	100	24	2	1	—	24	0,04	—
—	124	25	2	1	—	26	0,035	—
—	140	26	2	1	—	28	0,035	—
—	168	27	2	1	—	28	0,04	—
—	169	28	2	2	—	50	0,02	—
—	248	30	2	—	—	92	—	—
—	340	30	2	—	—	—	—	—
36°	24	6	2	1	—	15	0,06	—
—	39	7	2	1	—	24	0,04	—
—	63	8	2	12	—	55	0,22	—
—	118	20	2	2	—	19	0,01	—
—	137	22	2	2	—	24	0,08	—
—	161	24	2	0	—	27	0	—
—	188	24	2	0	—	152	0	—
—	340	24	2	—	—	—	—	—

A 33° 1/2, la diminution de la croissance s'accroît de plus en plus ; il n'y a même plus cette activation du début de la végétation, dont la durée se réduisait au fur et à mesure que la température s'élevait. La « Grande Période » est sensiblement à la même époque qu'à 32°. La tigelle apparaît et n'atteint qu'une longueur d'une quinzaine de millimètres.

A 35 et 36°, le développement est et demeure faible.

Au-dessus du 36°, il n'a été obtenu aucune germination. L'étude cytologique et l'étude chimique montrent dans les constituants cellulaires et dans le métabolisme de la plante des modifications si profondes que cela n'a rien d'étonnant.

Ces résultats étant acquis, les recherches suivantes auront pour but de déterminer quelques-uns des effets de l'élévation de

Graphique 1.



Courbes représentatives de la croissance de la racine principale de *Pisum sativum* en fonction du temps et de la température.

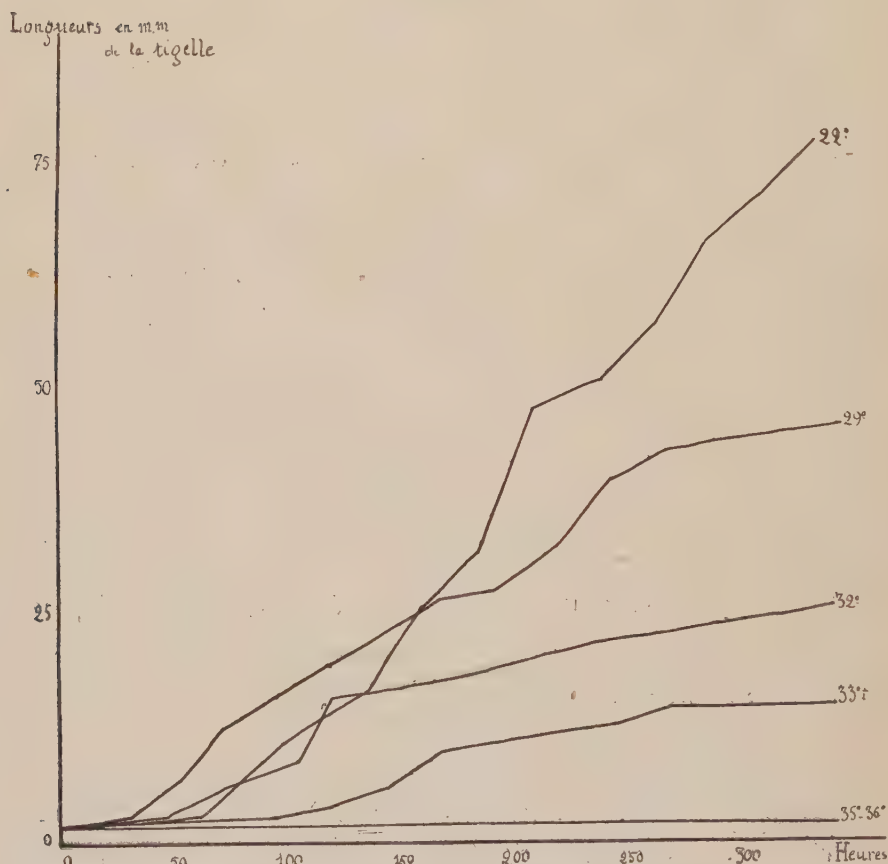
température, effets permettant de comprendre l'arrêt végétatif à partir de 35°.

Morphologie externe. (Fig. 2). — Les plantules âgées de 15 jours et ayant vécu à 22°, 29°, 32°, 33° 1/2, 35° ou 36°, montrent, indé-

pendamment des différences de tailles, de grandes variations morphologiques.

Leurs tiges présentent un accroissement du diamètre, corrélatif

Graphique 2.



Courbes représentatives de la croissance de la tige de *Pisum sativum* en fonction du temps et de la température.

d'une augmentation de leur teneur en eau, comme les comparaisons des poids secs et frais rapportés dans la seconde partie de notre travail l'indiquent.

Ce sont les points végétatifs qui sont fortement atteints ; à



Fig. 2. — Formes de jeunes plantules de Pois, âgées de 15 jours, aux différentes températures de végétation.

32°, on peut constater que les jeunes feuilles ne se développent pas et sont réduites à un pétiole qui reste petit.

A partir de 33° 1/2, la racine principale se fend longitudinalement jusqu'au cylindre central, laissant apparaître de petits mamelons qui s'allongent plus ou moins, et sont des radicelles avortées.

Notons aussi que les poils absorbants sont très nombreux, même dans ce milieu liquide, jusqu'à 29°, mais qu'il n'en apparaît jamais aux températures plus élevées.

Comparaison avec les résultats de Köppen. — Nos résultats ont été ramenés à 48 heures, par interpolation.

KÖPPEN (52)		RÉSULTATS PERSONNELS	
TEMPÉRATURES	LONGUEURS EN MM.	TEMPÉRATURES	LONGUEURS EN MM.
21°4	25,5	22°	16
28°5	40,4	29°	35
31°1	38,9	32°	18
36°5	8,7	36°	7

Bien que systématiquement plus faibles, les nombres trouvés montrent des variations de même ordre dans les deux cas.

DEUXIÈME PARTIE

TEMPÉRATURE ET CONSTITUANTS CELLULAIRES

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE

Cytoplasme. — Bien que cette question ait fait l'objet de travaux nombreux mais fragmentaires, il nous a cependant paru intéressant de la reprendre, afin, si possible, d'apporter des faits nouveaux et de coordonner dans une certaine mesure tout ce qui concerne les actions de la chaleur sur les constituants cellulaires. Nous avons été amenés non seulement à faire l'étude des températures prémortelles et mortelles, mais aussi à pousser les recherches bien au-delà, jusqu'aux points de coagulations réelles.

Il existe, à ce point de vue, peu d'études méthodiques sur les mitochondries et les vacuoles.

POLICARD et MANGENOT (82), sur les filaments de Sapro-légna, les cellules épidermiques des jeunes feuilles d'Iris et des pétales de Tulipe, ont confirmé de précédentes observations de POLICARD (81) et de COWDRY (13) : les mitochondries, sensibles aux élévations de température, « s'évanouissent » entre 48 et 50° où se situerait « un point de fusion » caractéristique de ces éléments.

Il n'existe, à notre connaissance, aucun travail sur les variations de l'appareil vacuolaire en fonction de la chaleur.

Les mouvements cytoplasmiques, par contre, ont fait l'objet

d'abondantes recherches, en particulier la cyclose des chloroplastes d'*Elodea* et de celle des cellules de Characées. Nous ne retiendrons, parmi elles, que les principales.

L'action de la chaleur sur *Chara flexilis* fut étudiée en 1837 par DUTROCHET (23 b) ; il constata que, lorsqu'on élève doucement la température, il y a d'abord diminution de la vitesse du cytoplasme de 18 à 27°, puis, au bout de quelque temps, l'équilibre s'établit et il y a accroissement jusqu'à 45°. NÄGELI (71 a, b, 72), à plusieurs reprises (1855, 1860, 1867) revient sur ce sujet et examine *Nitella syncarpa*, *Nitella flexilis*, les poils épidermiques de *Cucurbita pepo*. Il constate que les mouvements chez *Nitella syncarpa* cessent à 37° et chez *Cucurbita pepo* à 47, 48° ; c'est ce qu'il a appelé la « Warmestarre ». JÜRGENSEN (50) observe *Vallisneria spiralis* et SCHULTZE (90) mesure les vitesses des mouvements chez cette plante : il trouve de 0 mm. 015 à 0 mm. 04 par seconde, avec arrêt à 43°.

VELTEN (101) fait, en particulier, une étude sérieuse sur *Elodea* et situe la « Warmestarre » à 35°, chiffre certainement trop faible. Alors que NÄGELI avait constaté que l'augmentation des vitesses était une fonction logarithmique de la température, VELTEN trouve qu'elle est une fonction linéaire. Le même auteur a également examiné le *Chara*, et est arrivé à des résultats analogues aux précédents. D'après HEILBRUNN (42), les chercheurs plus récents ont plutôt confirmé VELTEN que NÄGELI.

Plus tard, EWART (30), puis VOUK (105) ont rassemblé les résultats épars et ont donné les valeurs des vitesses de ces mouvements cycliques. Ils discutèrent également les valeurs du coefficient de VAN T'HOFF, comme l'avaient déjà fait KANITZ (51) NÄGELI et VELTEN. Nous ne les suivrons pas dans cette voie : il est évident que, vers les températures élevées, ce coefficient prend des valeurs aberrantes, bien plus faibles d'ailleurs que la valeur théorique (comprise entre 2 et 3), et qu'il ne peut nous apporter aucun élément nouveau.

Très récemment, LAMBERS (53 a, b) et ROMIJN (85) ont étudié le premier, *Nitella mucronata*, le second, *Nitella flexilis*. LAMBERS note que la courbe des vitesses en fonction des températures est très sensiblement la même que celle de la fluidité, celle-ci étant l'inverse de la viscosité, qu'elle est une droite jusqu'à

34°. Il partage l'avis d'EWART : la température agit sur cette viscosité. ROMIJN donne les résultats suivants :

TEMPÉRATURES	VITESSES EN μ /SEC.
13°8	30
24°5	55
31°5	80
37°5	97

Il constate également que, après échauffement, la vitesse reste inférieure à la vitesse de départ, au moins jusqu'à 35°, et ne rattrape son régime qu'après un temps d'autant plus long que l'échauffement a été plus vif. Nos recherches, faites antérieurement aux siennes, mais non publiées, permettront de pousser plus loin encore ces conclusions.

Les théories explicatives, d'une part de l'orientation de ces mouvements, d'autre part des variations observées, ont été différentes suivant les auteurs. A. MEYER (67) en présente une étude critique dans son ouvrage : « Analyse der Zelle ».

Les premiers auteurs comme DUTROCHET attribuaient ces phénomènes à des actions électriques. C'était d'ailleurs encore l'avis de VELTEN. D'autres, comme SCHULTZE (90) admettaient une contractilité des filaments de « l'échafaudage cytoplasmique ». Puis on invoqua la tension superficielle ; elle se révèle insuffisante à expliquer les mouvements internes, mais peut permettre de comprendre, par exemple, les mouvements amiboïdes. HOFMEISTER (45 a, b) explique la polarité de la cyclose par le passage dans une direction déterminée « de l'eau chassée des particules à imbibition diminuée, vers les particules à imbibition augmentée ». ENGELMANN (28) admet que chacune des plus petites particules protoplasmiques est constituée par une masse contractile irritable et que le mouvement d'ensemble est le résultat des variations de forme de ces éléments ou « inotagmes ». Il pense aussi qu'une grande cause de l'aptitude au déplacement des « inotagmes » est l'imbibition. Cette théorie, utile pour les éléments contractiles figurés (fibrilles musculaires par exemple) ne paraît reposer sur aucun fait qui ait été vraiment observé dans le cas des mouvements protoplasmiques.

A. MEYER (67) propose à son tour une explication purement physique à partir de l'agitation brownienne, dont l'amplitude croît avec la température. La résultante de ces mouvements élémen-

taires, et des chocs qui en résultent, serait le déplacement cytoplasmique orienté. Il déduit de ces considérations une formule assez complexe où entrent, entre autres quantités, la température absolue au numérateur et le coefficient de frottement interne du fluide au dénominateur. La courbe qu'il construit pour l'huile de Ricin entre 6°5 et 40°6 est superposable à celle de NÄGELI pour *Nitella*. Mais l'explication donnée par MEYER de l'orientation du mouvement est bien laborieuse et peu convaincante. Il faut également remarquer que le cytoplasme est un milieu bien autrement complexe que l'huile de Ricin seule.

HEILBRUNN (42) a consacré à l'action de la température sur le protoplasme un chapitre entier de son ouvrage : « The colloïd Chemistry of Protoplasme ». Il rappelle les principaux résultats obtenus sur les animaux et les végétaux, quelques-unes des théories explicatives émises, sans mentionner cependant celle d'A. MAYER. Après avoir noté que la chaleur agit sur le protoplasme de façon assez variable suivant le matériel étudié, il discute les explications généralement données pour l'arrêt brusque des mouvements. On l'attribue presque toujours à la coagulation des protéines de la cellule [LEPESCHKIN (60 a et b) de VRIES (105)] LEPESCHKIN à la suite de SACHS, admet que la mort par la chaleur suit, chez la Spirogyre, le processus suivant :

1° Une phase instable, correspondant à une augmentation de perméabilité ;

2° Un changement visible dans les couches superficielles du protoplasme, amenant une irrégularité de la surface.

3° Une coagulation incomplète des chloroplastes.

4° Une coagulation du tout.

Les deux premiers stades seraient réversibles.

Mais la coagulation des protéines se fait à une température supérieure à celle de l'arrêt des mouvements. L'action de la chaleur menée avec précaution, un peu avant la « Warmestärre » étant réversible, il y a donc des objections graves aux façons de voir antérieurement exposées. HEILBRUNN pense que ces variations sont dues à l'action de la température sur les graisses et les lipoïdes cellulaires. Il était cette opinion des résultats de l'étude sur l'action de leurs dissolvants, laquelle hâte l'effet de la chaleur, de la comparaison des points de fusion des lipoïdes d'organismes vivant

dans des conditions thermiques différentes, et enfin, du fait observé par HANSTEEN-CRANNER (39) que ces substances sont, dans une certaine mesure, solubles dans l'eau, même distillée.

Cette dernière théorie nous paraît la plus séduisante. C'est en tous cas celle qui rend le mieux compte des nombreux faits que nous avons observés.

Noyau. — PRILLIEUX (83), chauffant le sol où végètent de jeunes plantules de *Phaseolus* et de *Cucurbita*, observe, dans leurs racines, une augmentation de la taille des noyaux, une lobulation assez accentuée et même une pluralité de ces noyaux dans les cellules corticales. SABLINE (86) fait des constatations tout à fait identiques sur *Vicia Faba* ; il y voit également une fragmentation du nucléole vers 40°. Malheureusement, les températures qu'il a choisies sont trop distantes les unes des autres (7°, 10°, 30°, 40°), et l'asepsie étant nulle, on ne saurait dire si ces actions sont directement liées à la chaleur ou à la présence des microbes pullulant dans le milieu. Personnellement, nous avons essayé de reproduire les expériences de PRILLIEUX : à une ou deux exceptions près, nous n'avons obtenu que des putréfactions et non des germinations.

La même grave critique peut d'ailleurs être faite à tous les auteurs qui se sont occupés de cette question.

SCHRAMMEN (89) et GEORGEVITSCH (35) constatent que les hautes températures amènent une augmentation de la chromatine, tandis que les plus basses déterminent sa diminution. SCHRAMMEN montre également qu'une sorte de paralysie des mouvements des chromosomes apparaît, que certains d'entre eux peuvent rester en arrière, et les noyaux-fils demeurer réunis par un filament de chromatine. En ce qui concerne le nucléole, les mêmes auteurs remarquent, dans les mêmes conditions, une diminution de sa substance, tandis que HARTMANN (40) le voit se vacuoliser si considérablement qu'il en devient presque invisible. Sur le Pois, il observe de 8° à 31° une réduction de la taille des noyaux, suivie d'un accroissement à 37° qu'il attribue à une élévation de leur teneur en eau.

LUNDEGARDH (65, a, b) sur des racines de *Vicia Faba* soumises 5 heures à 32°, observe une grande activité mitotique, ainsi que des cellules avec deux ou trois plaques équatoriales, tandis qu'à 36°5, les chromosomes du spirème sont isolés et parallèlement

orientés. Il trouve peu de métaphases et de télophases, et une grande partie d'entre elles sont anormales : à cette température, il y a, pour lui, arrêt de la synthèse de la caryotine.

SAKAMURA (88), sur le même matériel, à 36°5 et à 40°, constate un raccourcissement du spirème et des chromosomes, ainsi que des anomalies dans la métaphase et l'anaphase. A 40° aucun de ces stades n'a été trouvé, ainsi qu'aucune télophase. DE LITARDIÈRE (62) chauffant 24 heures à 48 et 50°, 60 heures à 50° des racines d'*Allium Cepa*, trouve une hyperchromaticité des éléments chromosomiques et une diminution de colorabilité du nucléole : il note également une plasmolyse nucléaire intense.

YAMAHA (109) étudie sur la Fève l'action combinée de l'eau distillée et de la chaleur. Dès 30°, il observe des modifications du noyau soit au repos, soit en mitose, ainsi qu'une vacuolisation du nucléole ; ces actions s'accroissent quand la température s'élève. A 36°, il y a des modifications de forme des chromosomes : à 38°, il apparaît une auréole périnucléolaire ; à 40°, le noyau présente une structure de coagulum, et à 42°, les chromosomes s'agglomèrent pendant que, de 45° à 50°, le volume du noyau diminue. Il donne, à la fin de son travail, un tableau récapitulatif comprenant une trentaine de rubriques, dont la séparation nous paraît bien un peu artificielle. Nous en extrayons cependant les indications suivantes :

ACTION	TEMPÉRATURES OPTIMA
Structure de la membrane.....	36-40°
Caryolyse.....	38-44°
Excavation de la caryotine.....	44°
Altération du noyau.....	38-40°
Auréole au nucléole.....	34-38°
Anastomose des chromosomes.....	32°
Dispersion des chromosomes.....	35°
Éloignement anormal des parties sœurs.....	35°
Arrêt de la mitose.....	38°

Il conclut en disant que la température critique est de 38°.

TRUE et BARTLETT (93 a) ont montré que l'eau distillée amène une exosmose considérable des substances contenues dans la plante. La température n'agit donc pas seule, et il est difficile de délimiter la part qui revient à chacun des deux facteurs. La comparaison de nos résultats et de ceux de YAMAHA permettra, dans une certaine mesure, la séparation des phénomènes observés.

Signalons une thèse récente d'EPHRUSSI (29) à propos de l'action de la température sur l'œuf d'Oursin. Il distingue, au-delà de la température optima, deux zones : une première à modifications réversibles, une seconde à modifications irréversibles. Cette réversibilité exige un certain temps après le retour aux conditions normales. Cytoplasme et noyau sont inégalement sensibles à la chaleur ; la prophase et l'anaphase sont nettement atteintes quand la température s'élève.

MILOVIDOV (68 b) vient de publier un travail sur les réactions nucléaires sous l'influence de l'eau chaude jusqu'à 120°. Jusqu'à 30°, il ne note aucune action, de 30° à 60° une tendance à l'agglomération, puis au-dessus une forte vacuolisation et une dissolution. Les plus fortes variations se produisent pendant les 2 à 5 premières minutes de l'action.

CHAPITRE II

RECHERCHE SUR LE CYTOPLASME ET LE NOYAU

I. — TECHNIQUES

A. Techniques générales.

Sauf pour le noyau, les recherches ont été faites sur le vivant ; et les techniques cytologiques employées l'ont été seulement afin de confirmer et de préciser les remarques précédemment faites.

La faible durée de ces expériences n'a pas, dans ce cas et dans ce cas seulement, nécessité une asepsie rigoureuse, d'ailleurs difficile, sinon impossible à obtenir. Jamais les microorganismes n'ont troublé nos observations.

Il nous a fallu choisir des matériels permettant cette étude vitale. Pour les mitochondries, plastes, vacuoles et pour l'observation au fond noir, ce sont les épidermes du bulbe d'*Allium Cepa*, des jeunes feuilles, des jeunes pétales d'*Iris germanica* et de *Tulipa suaveolens*, qui nous ont servi.

Les mouvements cytoplasmiques ont été mesurés chez *Elodea canadensis*, *Chara foetida* (cellule mucronale), les poils de *Cucurbita pepo* et les cellules épidermiques des feuilles d'*Iris germanica*.

Le noyau a été étudié dans les régions d'active division de *Vicia Faba*, cultivée aseptiquement comme le Pois, après passage durant 36 heures dans une étuve maintenue à la température convenable, les plantules étant conservées dans leurs tubes de culture.

Dans les autres cas, le chauffage a été obtenu par la platine électrique de WALTON, avec thermorégulateur à mercure, permettant, tout en observant directement, d'avoir et de maintenir sensiblement constantes des températures allant de 20 à 90° C. Un thermomètre à réservoir en couronne, situé immédiatement

au-dessus de la préparation, en donne la température à chaque instant. Des vérifications tentées, il résulte que les indications de cet appareil peuvent être considérées comme exactes, et correspondent à l'état calorifique du tissu étudié.

Les objets observés ont été plongés dans le milieu naturel de la plante pour les plantes aquatiques, et, pour les autres, dans le liquide de RINGER, dont la formule est indiquée par GUILLIERMOND (37 c) (1). Ces liquides sont fréquemment remplacés après mise en équilibre thermique préalable, afin d'éviter les variations de concentration et l'asphyxie. Cela est facile en ajoutant quelques gouttes de la solution d'un côté de la lamelle et en aspirant par capillarité avec du papier filtre de l'autre côté.

Afin de lever certains doutes et de vérifier certaines affirmations, il a été fait quelques observations au fond noir, comme en publia récemment GUILLIERMOND (37 c) pour des conditions normales de température. Nous avons pour cela associé la platine chauffante et l'appareil d'ultramicroscopie de LEITZ.

B. Techniques mitochondriales.

La fixation a été effectuée au liquide de MEVES, ou à celui de REGAUD, dont nous rappelons les formules.

Solution de MEVES :

Acide chromique à 1 %.....	4 parties
Acide osmique à 2 %.....	1 partie

Le matériel, immergé une nuit dans ce mélange, est soigneusement lavé à l'eau courante durant 24 heures. On postchromise ensuite une dizaine de jours dans une solution de bichromate à 3 %. Cette excellente méthode a également l'avantage de décélérer les lipides et les graisses.

Solution de REGAUD :

Formol neutre à 40 %.....	1 partie
Bichromate de potasse à 3 %..	4 parties

(1) Liquide de Ringer :

Chlorure de sodium	6 g.
Bicarbonate de soude	0 g. 1
Chlorure de calcium	0 g. 1
Chlorure de potassium.....	0 g. 075
Eau distillée.....	1.000 g.

On fixe trois jours dans ce liquide, préparé frais et remplacé lorsqu'il se trouble. On postchromise comme il a été indiqué ci-dessus, et on lave 24 heures à l'eau courante.

C. Fixations nucléaires.

Ce furent les mêmes que les précédentes, mais sans postchromisation.

La méthode de HELLY a été employée et nous a donné de bons résultats.

Le liquide fixateur a la constitution suivante :

Eau distillée.....	100 g.
Bichromate de potasse.....	2 g. 5
Sublimé	5 g.

On ajoute, au moment de l'emploi, 10 % de formol neutre à 40 % et on laisse une nuit dans la solution ; on lave 24 heures et on passe ensuite aux opérations ordinaires d'inclusion, coupe et coloration.

D. Colorations.

Noyaux et mitochondries ont été colorés par l'hématoxyline de REGAUD.

Hématoxyline cristallisée pure.....	1 g.
Alcool de dissolution à 90°.....	10 cc.
Glycérine.....	10 cc.
Eau distillée.....	80 cc.

La méthode de KÜLL, après fixation au Meves, nous a donné d'excellentes figures mitochondriales. On colore avec une solution de fuchsine acide, faite à raison de 10 grammes de ce corps pour 100 grammes d'eau anilinée.

La préparation, largement recouverte du colorant, est disposée sur une platine chauffante jusqu'à apparition de vapeurs ; on recommence trois fois, en renouvelant chaque fois la fuchsine. Après refroidissement, on ajoute un peu de bleu de toluidine en solution ; on le laisse couler, on lave à grande eau et on régresse à l'aurantia en solution alcoolique à 1 %. Cette régression est rapide et doit être soigneusement surveillée.

E. Étude du vacuome.

Cette étude peut se faire directement, soit sur de très jeunes pétales d'Iris, soit sur de jeunes folioles de Rosier dont les vacuoles

sont naturellement colorées. Pour les épidermes de très jeunes feuilles d'Iris et l'épiderme d'Oignon (bien que ce ne soit pas nécessaire dans ce dernier cas), nous avons utilisé une solution de Rouge neutre à 1/5.000. Les résultats étant concordants, nous ne rapporterons que ceux ayant trait d'une part à la cellule d'*Allium Cepa* et, d'autre part, à la cellule de l'épiderme foliaire d'*Iris*.

Nous exposerons donc successivement l'action de la température sur :

- les mitochondries
- le vacuome
- les mouvements cytoplasmiques
- le noyau
- les aspects au fond noir

II. — TEMPÉRATURE ET MITOCHONDRIES

Aspects sur le vivant dans la cellule de l'épiderme d'Allium Cepa et du pétale de Tulipa suaveolens. L'appareil mitochondrial de ces cellules a été très exactement décrit et figuré par GUILLIERMOND (37 c pl. 18 et 19, 37 a b, 38,). Il se compose de chondriocotes allongés et flexueux, avec de petites mitochondries, en bâtonnets ou plus ou moins arrondies. Un peu d'habitude permet de les voir avec facilité et netteté. Quelques-uns de ces chondriocotes peuvent présenter de faibles renflements. La cellule contient également des granulations lipoides se déplaçant rapidement le long de fines travées protoplasmiques.

A 29°, l'agitation générale croît et les mouvements deviennent plus rapides. La fluidité du protoplasme augmente.

A 36°, cette agitation continue d'être très active et le chondriome est très nettement visible ; c'est d'ailleurs à cette température qu'il l'est le plus. Les chondriocotes commencent à s'épaissir en se raccourcissant et même parfois en se fragmentant.

A 40°, cette vésiculation s'accroît pendant que la réfringence commence à diminuer ; elle devient très faible à 50°, et il faut avoir suivi sans arrêt ces variations pour ne pas perdre de vue les éléments observés. Ce fait, joint à la diminution de l'affinité

chromatique, explique l'erreur des précédents auteurs, ainsi que nous l'avons déjà indiqué (31 b).

A 58° environ, le gonflement des chondriocotes est maximum, pendant que la rapidité, le nombre et l'ampleur des mouvements des granulations lipoides ont énormément diminué.

A 62°, les extrémités de certains éléments mitochondriaux

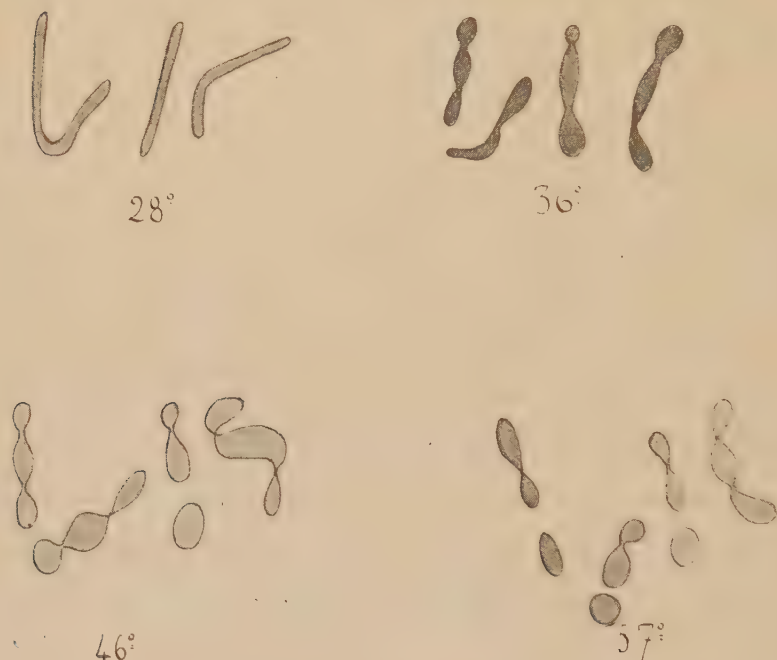


Fig. 3. — Aspect des chondriomes sur le vivant, dans la cellule de l'épiderme du pétale de *Tulipa suaveolens* à diverses températures.

Les différences de teinte indiquent les variations de la visibilité. Grossissement : 1.500

Nota. — Toutes les figures ayant trait à la partie cytologique ont été, sans exception, dessinées à la chambre claire.

sont agitées sur place de trémulations extrêmement vives, décelant ainsi de fortes agitations protoplasmiques : c'est le début de la coagulation visible, comme le confirmeront des observations suivantes.

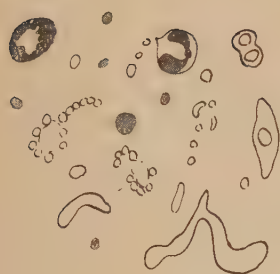
Cependant, il nous a été possible de suivre dans quelques cas jusqu'à 85°, les fragments provenant des chondriocotes.



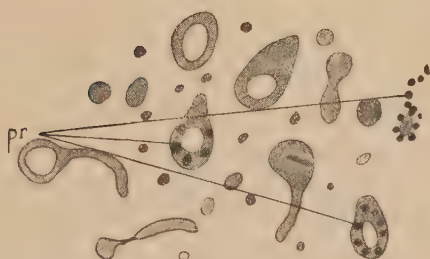
30°



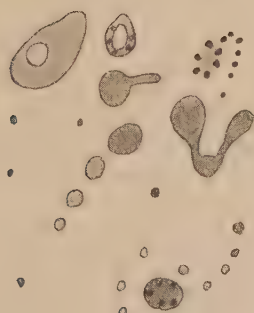
38°



46°



58°



64°

Fig. 4. — Aspect du chondriome après chauffage à différentes températures (cellule épidermique d'*Allium Cepa*). — l : liposomes, ch : chondriocentes ; m : mitochondries ; pr : albuminoïdes de constitution coagulés. Meves. Hematoxyline. Grossissement : 1.500.

Les autres formes du chondriome sont beaucoup plus faiblement atteintes.

Les observations faites sur l'épiderme du pétale de Tulipe sont absolument identiques aux précédentes ; ce sont elles que nous avons représentées dans la figure 3.

Etude après fixation et coloration (fig. 4). — Les Oignons entiers ont été mis durant 18 heures à l'étuve convenablement réglée.

L'examen de l'épiderme confirme les variations de formes des éléments examinés, et quelques autres résultats chimiques ont été obtenus. Le temps d'action plus long que dans les expériences précédentes a permis aux changements de cet ordre de s'effectuer.

Jusqu'à 38°, rien de particulièrement spécial n'apparaît, sinon la vésiculation déjà indiquée ainsi qu'une diminution de la chromatocité du chondriome.

A 46°, certains chondriocotes se « cavulent » et peuvent prendre une teinte bistre due à la réduction de l'acide osmique contenu dans le fixateur de MEYER. Cette teinte peut être diffuse ou offrir des formes figurées définies. D'autres chondriocotes se fragmentent différemment, ne laissant qu'une vésicule intérieure à peine visible entourée d'une auréole de petits grains sphériques suivie d'un chapelet de grains identiques. L'ensemble ne se colore pas par l'acide osmique et prend faiblement l'hématoxyline.

A 58°, les phénomènes morphologiques restent les mêmes bien que plus accentués ; mais il y a maintenant séparation des constituants chimiques. Tous les chondriocotes sont colorés en brun par l'acide osmique, ce qui décèle leurs lipoides de constitution ; dans quelques cas, il apparaît de petites sphères colorées en noir par l'hématoxyline, alors que le reste de la vésicule ne l'est pas : ce sont sans doute des coagulums albuminoïdes. Les « comètes » mitochondriales signalées à 46° se comportent de la même manière.

Ainsi donc, les mitochondries ne « s'évanouissent » ni ne « fondent » pas par élévation de température, mais se conservent en changeant, du moins pour les chondriocotes, considérablement de formes ; leur visibilité maxima à 36° est minima vers 45-50°. Vers 60°, il apparaît des lipoides chez tous et des granules protéiques dans un certain nombre d'entre eux.

Par une voie bien détournée, nous confirmons de cette manière

les recherches de Milovidov (68 a) et l'opinion exprimée par GUILLERMOND dans son récent *Traité de Cytologie* (p. 79) : « On peut donc admettre que les chondriosomes sont constitués comme le cytoplasme par des lipoprotéides ; mais ils paraissent beaucoup plus riches en lipoides que le cytoplasme ».

III. — TEMPÉRATURE ET VACUOME

Cellule de l'épiderme d'une écaille bulbaire de l'Allium Cepa.

Nous avons suivi avec une extrême attention les variations des volumes du cytoplasme et de la vacuole dans les cellules adultes parfaitement vivantes de l'épiderme du bulbe d'*Allium*.

De 25 à 37°, la vacuole diminue, tandis que le volume du pro-

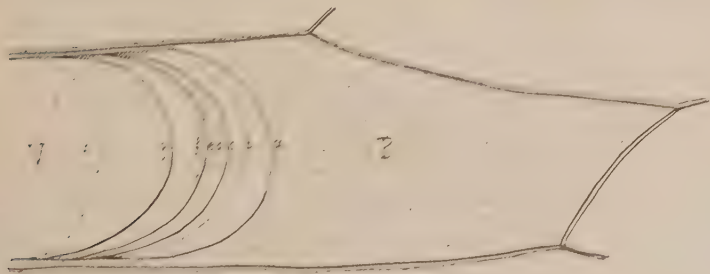


Fig. 5. — Variation du cytoplasme de la cellule épidermique d'*Allium Cepa* sous l'influence de la température.

V : vacuole ; P : protoplasme. — b : 25° ; d : 32° ; f : 35° ; g : 37° ; e : 38° ; c : 39° ; a : 42° ; h : 47°. — Grossissement : 900. Rouge neutre.

toplasme augmente ; puis le contraire se produit jusqu'à 42° environ. Enfin, de 42 à 47°, il y a une augmentation continue du cytoplasme (fig. 5).

Les observations ont été faites, nombreuses ; les températures ci-dessus indiquées sont moyennes, mais les écarts observés ont été assez faibles pour ne pas influencer sur le sens du phénomène.

Nous avons également pu suivre une vacuole sphérique dans une cellule jusqu'à 40° ; de 25 à 40°, elle a régulièrement diminué de volume comme le montre la figure 6.

Il y a là une constatation intéressante, car 37° est la tempéra-

ture à laquelle les mitochondries sont les plus visibles, 47° celle où elles le sont le moins. D'autre part, nous constaterons, lors de l'étude des mouvements cytoplasmiques, que des températures, sensiblement égales à celles-ci, amènent des modifications énormes dans les vitesses de certains d'entre eux, que 36-38° correspondent aux actions maxima sur les noyaux et qu'enfin 35° est une température immédiatement prémortelle pour la plante que nous avons étudiée. Cette variation d'équilibre du système vacuole-protoplasme amène des variations d'équilibres physico-chimiques dans l'ensemble cellulaire, dont l'influence sur les phénomènes précités doit

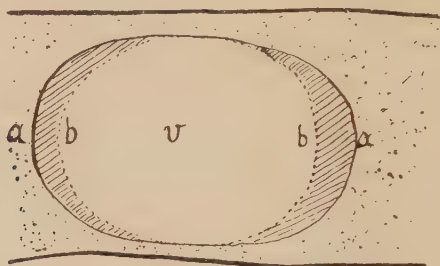


Fig. 6. — Diminution de volume de la vacuole avec la température chez *Allium Cepa* (Épiderme).

V : vacuole ; a : limite à 25° ; b : limite à 40°. — Grossissement : 1.200. Rouge neutre.

être énorme. Nous aurons l'occasion plus loin de préciser quelques-uns des aspects de cette question.

Epiderme des jeunes feuilles d'Iris germanica. — Le vacuome de ces cellules a été décrit et figuré par GUILLIERMOND (Traité de Cytologie, fig. 159, p. 301).

La figure 7 indique les différents états de ce vacuome, mais ce qu'elle ne peut malheureusement pas rendre, c'est son extrême variabilité suivant les conditions de température.

A 26° les vacuoles occupent une grande partie de la cellule ; elles changent constamment de forme, s'allongent, isolant de petites cavités globulaires dans le cytoplasme avoisinant ; ces globules se déplacent, puis se fondent avec leurs voisins.

A 32°, elles changent de forme, et la rapidité de leurs variations va en croissant.

A 36-38°, cette labilité est maxima : les grandes vacuoles émettent des tentacules qui s'étirent, se rétractent, se renflent, se séparent de la vacuole-mère, rejoignent d'autres vacuoles. Jamais nous n'avons tant eu l'impression de l'extrême instabilité physique et chimique du protoplasme de la cellule vivante, ainsi que de sa très grande complexité. Ces températures correspondent sensiblement à la première augmentation de volume du protoplasme de la cellule d'*Allium*.

A 45°, le vacuome diminue nettement ; les petites vacuoles disparaissent, résorbées par les grandes, qui, elles-mêmes, se transforment plus ou moins nettement en canalicules, ou se fragmentent sur place.

Jusqu'à 70°, la variation est continûment de même sens, et, à partir de cette dernière température, survient une diminution considérable de la visibilité, liée à la coagulation du protoplasme, comme le prouve l'étude au fond noir.

Ces deux séries d'observations se complètent donc bien, puisqu'elles montrent que, dans les deux cas, les températures de 37 et 47° correspondent à des modifications considérables du vacuome et, partant, du protoplasme. On a, chez l'Iris, l'impression très nette que l'action de la chaleur, limitée à 37°, ne lèse en rien la cellule, mais qu'il n'en va plus de même à 47°. Cela a pu, d'ailleurs facilement, être vérifié. Nous retrouverons quelque chose de très identique lors de l'étude des mouvements des chloroplastes d'*Elodea* et de ceux de ses granules cytoplasmiques.

IV. — TEMPÉRATURE ET MOUVEMENT CYTOPLASMIQUES

Il nous faut, tout d'abord, préciser les méthodes de mesures. Elles ont été faites suivant les objets étudiés à des grossissements linéaires de 410, 710 ou 1960. Les deux premiers ont servi pour *Elodea* (chloroplastes) et *Chara*, le dernier pour les granules cytoplasmiques de l'*Elodea*, de *Cucurbita pepo* et d'*Iris germanica*.

Le microscope était muni d'un micromètre oculaire ; on notait le temps nécessaire au passage des corpuscules observés entre deux traits de repère de ce micromètre. Ces traits étaient choisis les plus

éloignés possibles, bien que limitant un déplacement en ligne droite, sans obstacle. Pour *Elodea* et *Chara*, ce sont les mêmes organites faciles à suivre tout autour de la cellule, ou à reconnaître d'après leurs formes, qui ont été observés. Il n'a pas toujours été possible de faire de même pour les autres objets d'étude, mais nous avons pris soin de ne comparer que des granules sensiblement de même taille, presque à la limite de l'observation.

Un étalonnage préalable, à l'aide d'un micromètre objectif, permettait de déterminer, en valeur absolue, les espaces parcourus et les vitesses acquises.

Le temps était mesuré à l'aide d'un chronographe au 1/5 de seconde. Avec un peu d'habitude, on le met en marche au moment précis du passage des corpuscules devant le premier trait de repère choisi et on l'arrête au dernier trait. Toutes ces mesures étant comparatives, le temps d'équation personnelle joue sensiblement de la même façon dans tous les cas.

Il est nécessaire d'opérer constamment dans les mêmes conditions d'éclairage. Des mesures faites dans des conditions différentes nous ont montré que les variations obtenues pouvaient acquérir une valeur considérable, supérieure même à celles qu'il s'agissait d'évaluer. Voici par exemple, pour une même cellule, d'*Elodea*, pour la même longueur, la même température (20° C), après dix minutes d'exposition dans chaque cas, les temps du mouvement :

1° Éclairage faible : mouvements lents des chloroplastes, pas de mesure possible.

2° Éclairage plus fort : les mouvements s'accélérent : 40 sec.

3° Éclairage assez fort : 25 secondes.

4° Éclairage très vif : 20 secondes 1/2.

La lumière vive détermine une vitesse double de celle qui a été mesurée à la lumière faible. Cependant, le niveau du thermomètre de la platine n'avait pas varié pendant la durée de l'expérience, et il n'a pu être décelé aucune élévation de température appréciable de la préparation elle-même.

Nous avons donc, systématiquement, avant d'effectuer les mesures, laissé l'équilibre thermique et lumineux s'établir ; l'expérience montre qu'une dizaine de minutes sont nécessaires.

FEUILLES D'*ELODEA CANADENSIS*. — Deux sortes d'observations ont été faites sur les cellules voisines de la nervure médiane de cette feuille. Quand on regarde de très près le contenu cellulaire, on y trouve, en dehors des chloroplastes dont le mouvement est bien connu et fut un objet privilégié d'études, de très petits granules, presque à la limite de visibilité, animés eux aussi d'un mouvement de cyclose, mais suivant avec beaucoup plus de fidélité les variations du cytoplasme.

BELEHRADEK (2 a b c), partant de cette remarque, avait eu l'idée de mesurer les vitesses de ces deux constituants cellulaires et d'en déduire les viscosités relatives du protoplasme. HEILBRUNN (42 p. 151) fait une critique de cette méthode et pense qu'elle ne peut donner aucune indication certaine. Nous verrons en effet que, sous l'action de la température, les mouvements des chloroplastes atteignent leur maximum et s'arrêtent plus tôt que les autres. Le cytoplasme continue cependant de se mouvoir. Peut-on dire alors que sa viscosité est nulle ou infiniment grande suivant le sens du rapport que l'on effectue ?

Chloroplastes. — Tableau IV, graphique n° 3.

TABLEAU IV

Vitesses des chloroplastes de la feuille d'*Elodea canadensis*.
Espace parcouru en μ : 113 μ .

TEMPÉRATURES EN DEGRÉS C	TEMPS EN SECONDES	ESPACES PARCOURUS EN μ /SECONDE
22°	21 2/5	5,27
26°	17 1/5	6,55
29°	14 2/5	7,83
32° 1/2	11 3/5	9,71
34°	8 3/5	13,10
36°	10 3/5	10,63
39°	10 3/5	10,63
43°	11 3/5	9,71
46°	11 3/5	9,71
48°	14	8,05

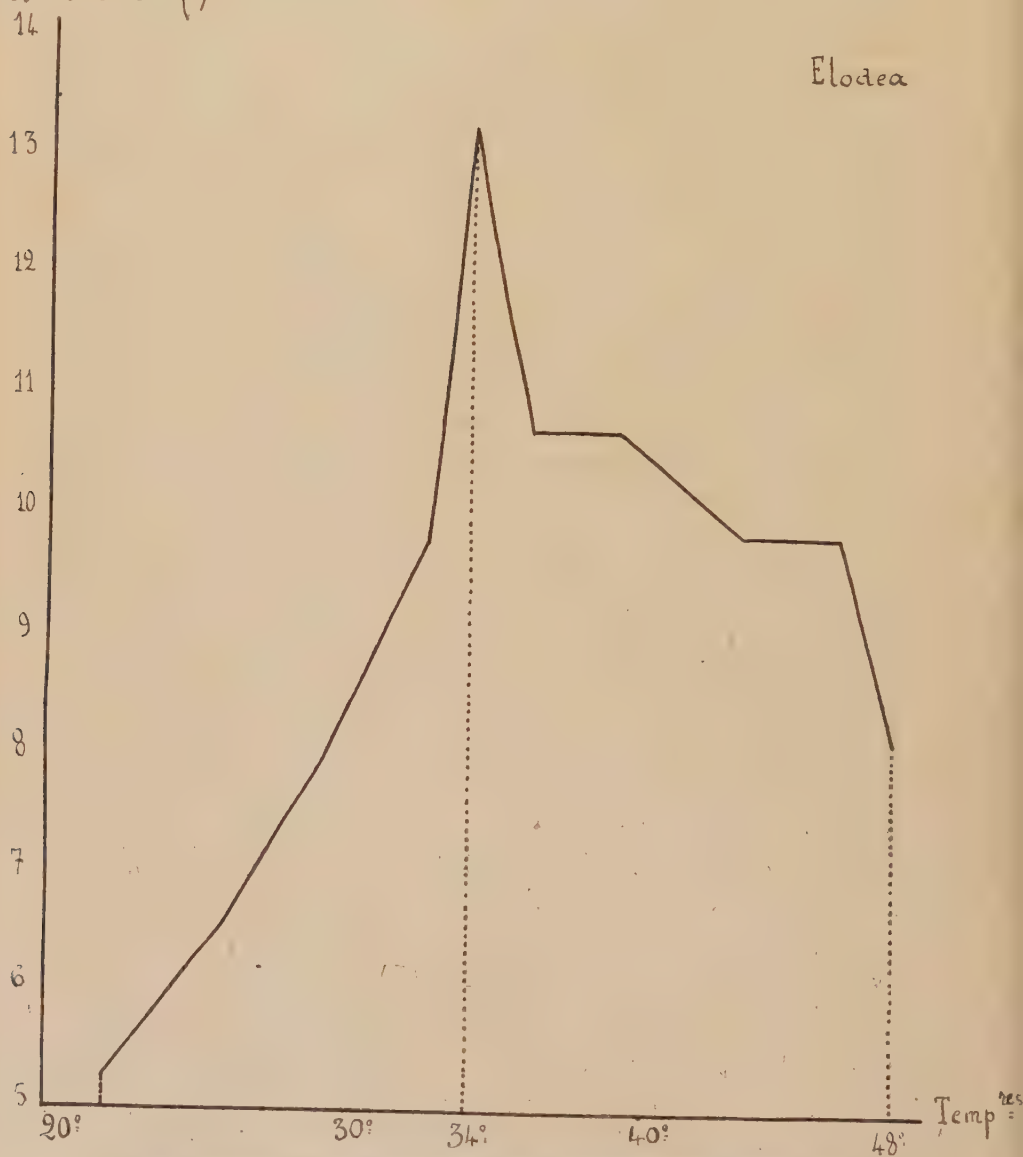
Leur vitesse maxima est atteinte vers 34° C.

Au fur et à mesure que la température s'élève et surtout à partir de 48° C, le nombre de grains en mouvement diminue ; et

Graphique 3.

Vitesses en μ /sec.

Elodea



Courbe représentative des mouvements des chloroplastes chez *Elodea canadensis* en fonction de la température.

ceux qui s'arrêtent le font, accolés à la paroi, c'est-à-dire à la partie extérieure du cytoplasme, comme si la surface du chloroplaste ou celle du protoplasme ou les deux ensemble jouissaient, à la température élevée de l'observation, de propriétés nouvelles.

On peut aussi voir la substance cellulaire couler lentement le long des grains arrêtés. Il y a sans doute une modification des zones en contact, liée, comme le pense HEILBRUNN, à un changement d'état des graisses amené par la chaleur.

L'arrêt complet de ces mouvements a lieu vers 50° C.

Toutes ces mesures ont été faites sur la même cellule et sur un parcours libre de tout obstacle. BELEHRADEK (2 a) a, en effet, montré, et nous l'avons constaté comme lui, que les vitesses varient d'une cellule à l'autre suivant des proportions non négligeables.

Granules cytoplasmiques. — Tableau V, graphique n° 4.

TABLEAU V

Vitesses comparées des granules cytoplasmiques et des chloroplastes chez *Elodea canadensis*

Espace parcouru : 30 μ 6

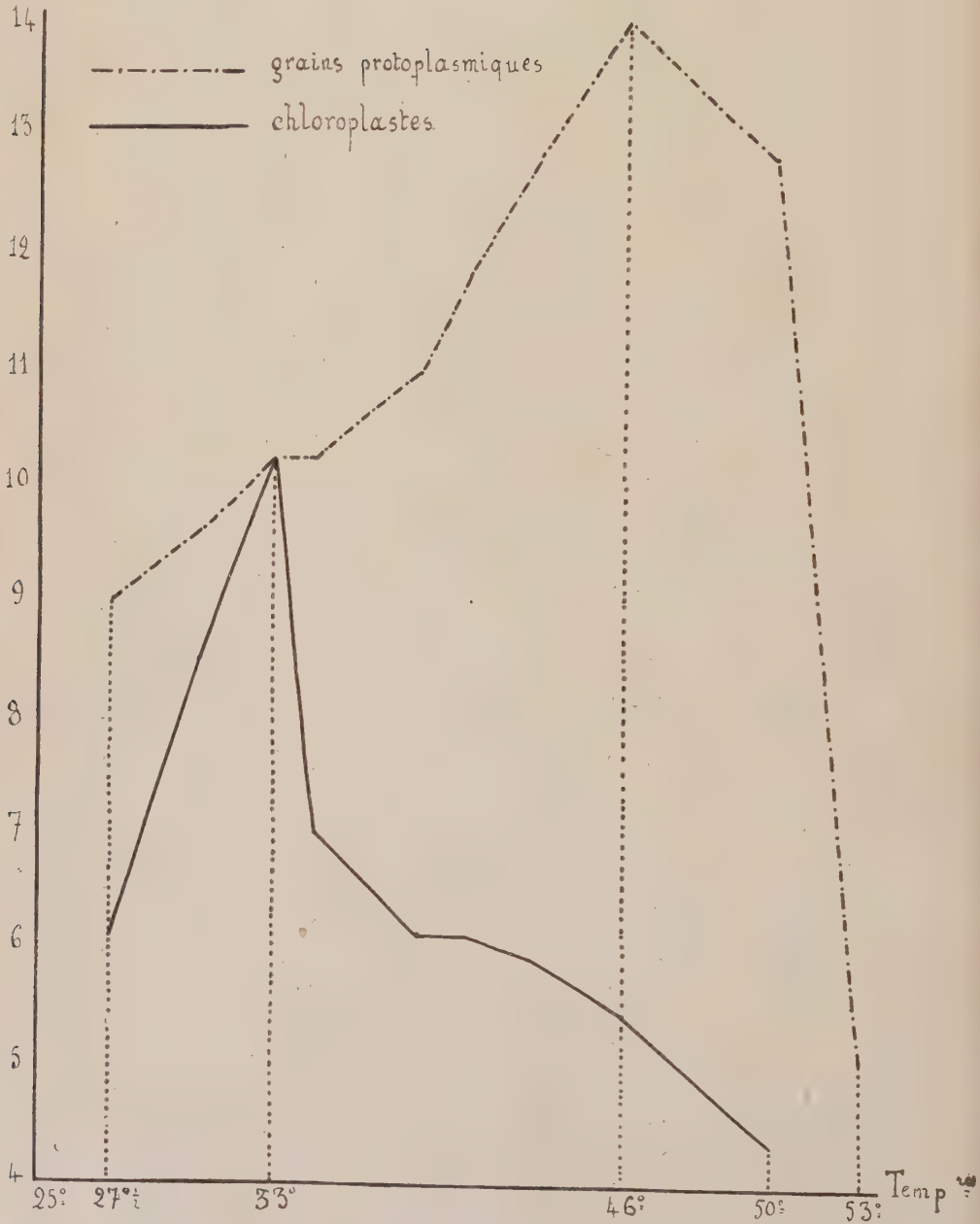
TEMPÉRA- TURES EN DEGRÉS C	CHLOROPLASTES		GRANULES		RAPPORTS DES VITESSES $\left(\frac{2}{1}\right)$
	TEMPS EN SEC.	VITESSES EN μ /SEC (1)	TEMPS EN SEC.	VITESSES EN μ /SEC. (2)	
27° 1/2	5	6,12	3 2/5	9	1,47
30° 1/2	3 3/5	8,5	3 1/5	9,57	1,13
33	3	10,2	3	10,2	1
34° 1/2	4 2/5	7	3	10,20	1,47
38°	5	6,12	2 4/5	10,93	1,8
39° 1/2	5	6,12	2 3/5	11,77	1,91
42°	5 1/5	5,9	2 3/5	12,75	2,17
46°	5 3/5	5,46	2 1/5	13,91	2,54
50°	7	4,37	2 2/5	12,75	2,91
53°	—	—	5 2/5	5,1	∞

Leur vitesse va en croissant régulièrement et atteint son maximum vers 46°. Par contre, à 53°, elle baisse brutalement ; cependant l'arrêt total n'a lieu que vers 60°.

Nous remarquons aussi que, dans ces mesures, la vitesse

Graphique 4.

Vitesses en μ /sec.



Courbes représentatives des mouvements des grains cytoplasmiques et des chloroplastes chez *Elodea canadensis* en fonction de la température.

maxima des grains chlorophylliens est atteinte quand elle est égale à celle des corpuscules protoplasmiques.

Protoplasme. — Le protoplasme est fluent le long du cadre cellulosique cellulaire et il est bien observable dans les angles. Ses limites avec la vacuole centrale sont variables, et on peut ainsi se rendre compte de sa viscosité : celle-ci va en diminuant jusque vers 45° pour augmenter ensuite brusquement.

Au fur et à mesure que la température s'élève, les mouvements des granules sont de moins en moins orientés, ce qui est un signe certain de l'agitation moléculaire du milieu. Vers 43°, le cytoplasme montre, au contact de la vacuole, un aspect sirupeux bien net qui, peu à peu, gagne l'intérieur de la substance : c'est le début des modifications irréversibles. Les mesures deviennent, de ce fait, de plus en plus difficiles. Vers 50°, température de diminution rapide de la vitesse, l'agitation particulière croît fortement, et le nombre des chloroplastes bougeant encore quelque peu, tombe à 5 ou 3 pour une même cellule. On peut constater également, dans le cytoplasme, l'apparition de petites vacuoles qui gonflent vivement et se confondent ensuite avec la grande vacuole centrale.

A 52-53°, il y a arrêt complet des mouvements chloroplastiques en tant que mouvements orientés. L'agitation brownienne des autres particules augmente sans cesse et leur nombre augmente lui-même. Les déplacements sont plus courts bien que visibles, et le protoplasme sirupeux coule le long des grains verts.

Vers 55°, l'amplitude des mouvements diminue, et ils se limitent à des trémulations sur place. Quelques chloroplastes peuvent être agités de la même façon.

Vers 63°, le protoplasme devient granuleux et tout déplacement visible cesse ; mais toute agitation n'est pas complètement terminée, comme l'ont montré les flexions successives des extrémités des chondriocontes.

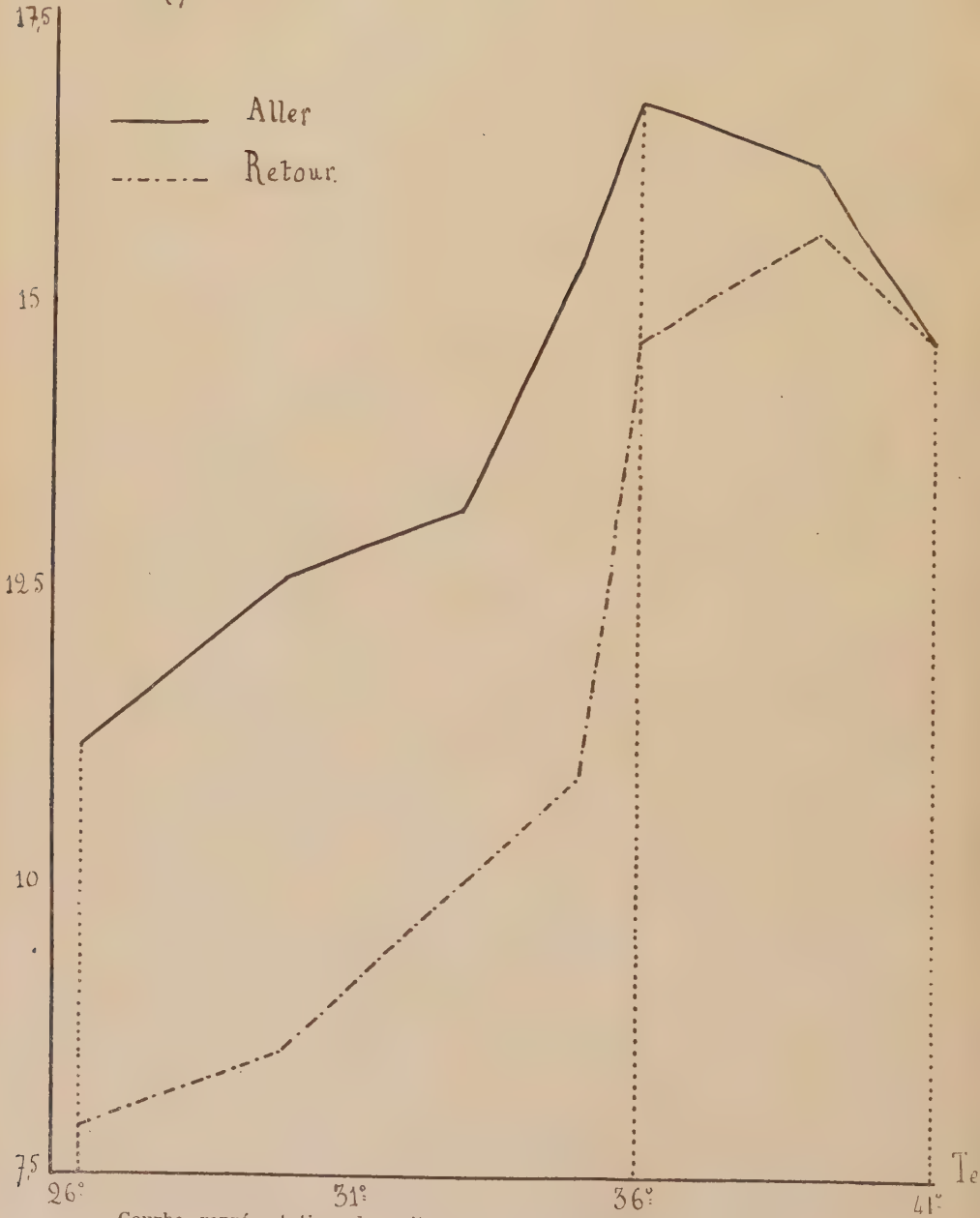
A 75°, il y a coagulation réelle indiquée par un mouvement des grains chlorophylliens et la diffusion de leur substance verte dans toute la cellule.

Nous aurons un peu plus tard à comparer toutes ces remarques avec celles faites à l'ultramicroscope.

Réversibilité de l'action de la chaleur. — Tableau VI, graphique n° 5.

Graphique 5.

Vitesses en μ/sec



Courbe représentative des vitesses des chloroplastes après chauffage à 41°, puis refroidissement (durant le même temps).

TABLEAU VI

Vitesses des chloroplastes de l'*Elodea canadensis*, à l'échauffement jusqu'à 41° puis au refroidissement

Espace parcouru : 190 μ

TEMPÉRATURES EN DEGRÉS C	TEMPS EN SECONDES	VITESSES EN μ /SECONDE
26° 1/2	17	11,18
30°	15 1/5	12,51
33°	15	12,68
35°	12 2/5	15,33
36°	11 2/5	16,68
39°	11 4/5	16,11
41°	13	14,63
39°	12 1/5	15,59
36°	13	14,63
35°	17 2/5	10,93
33°	19	10
30°	22	8,63
26 1/2	24	7,92

Jusqu'à 35°, la courbe du retour pour les granules verts, comme nous l'avons constaté maintes fois, est rigoureusement la même que celle de l'aller, à la condition que les expériences soient conduites dans le même laps de temps (30 minutes environ dans chaque cas). Mais, si l'on chauffe jusqu'à 41-42°, il n'en va plus de même. Il faut longtemps pour que la cellule retrouve son état antérieur, même lorsqu'elle a été peu chauffée : plusieurs heures sont nécessaires. Si l'action a été plus prolongée, la cellule meurt rapidement. A partir de 48°, la mort est presque immédiate. ROMIJN (85) chez *Nitella*, a d'ailleurs constaté « qu'au refroidissement, « la vitesse de retour reste inférieure à celle du départ et rattrape « son régime au bout d'un temps d'autant plus long que l'échauffement a été plus vif, du moins jusqu'à 35° ».

Toutes ces observations concordent, à de faibles différences près, avec celles de DEVAUX (20), qui trouve une injection des lacunes aérifères de l'*Elodea* à 48° et une mort partielle de ses feuilles, tandis qu'à 46°5, il n'en est rien, dans ces conditions d'expériences du moins. Pour lui, la mort à ces températures s'accompagne

d'un rejet d'eau et d'albumines solubles par le protoplasme modifié (page 106 de son mémoire). Ce protoplasme mourant se scinderait en deux parties : une partie cohérente formant un coagulum et une partie fluide sortant avec l'eau expulsée et se diffusant au dehors. Cette opinion nous paraît pertinente et tout ce que nous avons observé, tant au point de vue cytologique qu'au point de vue chimique, nous la font considérer comme vraisemblable.

CELLULE MUCRONALE DE *CHARA FOETIDA*. — Tableau VII.
Graphique n° 6.

TABLEAU VII

Vitesses des mouvements photoplasmiques chez *Chara foetida* en fonction de la température

Espace parcouru : 282 μ

TEMPÉRATURES EN DEGRÉS C	TEMPS EN SECONDES	VITESSES EN μ /SEC.
18°	10 3/5	26,58
23°	8	35 21
25°	6 4/5	41,42
28° 1/2	6	46,95
31°	5 2/5	52,16
34° 1/2	4 4/5	58,68
36° 1/2	4 3/5	61,24
39°	4	70,42
40° 1/2	3 2/5	82,85
43°	3	93,90
45°	3 1/5	88,03
46° 1/2	4	70,42
47° 1/2	5	56,34
48° 1/2	6 1/5	45,43
49°	8 3/5	32,76

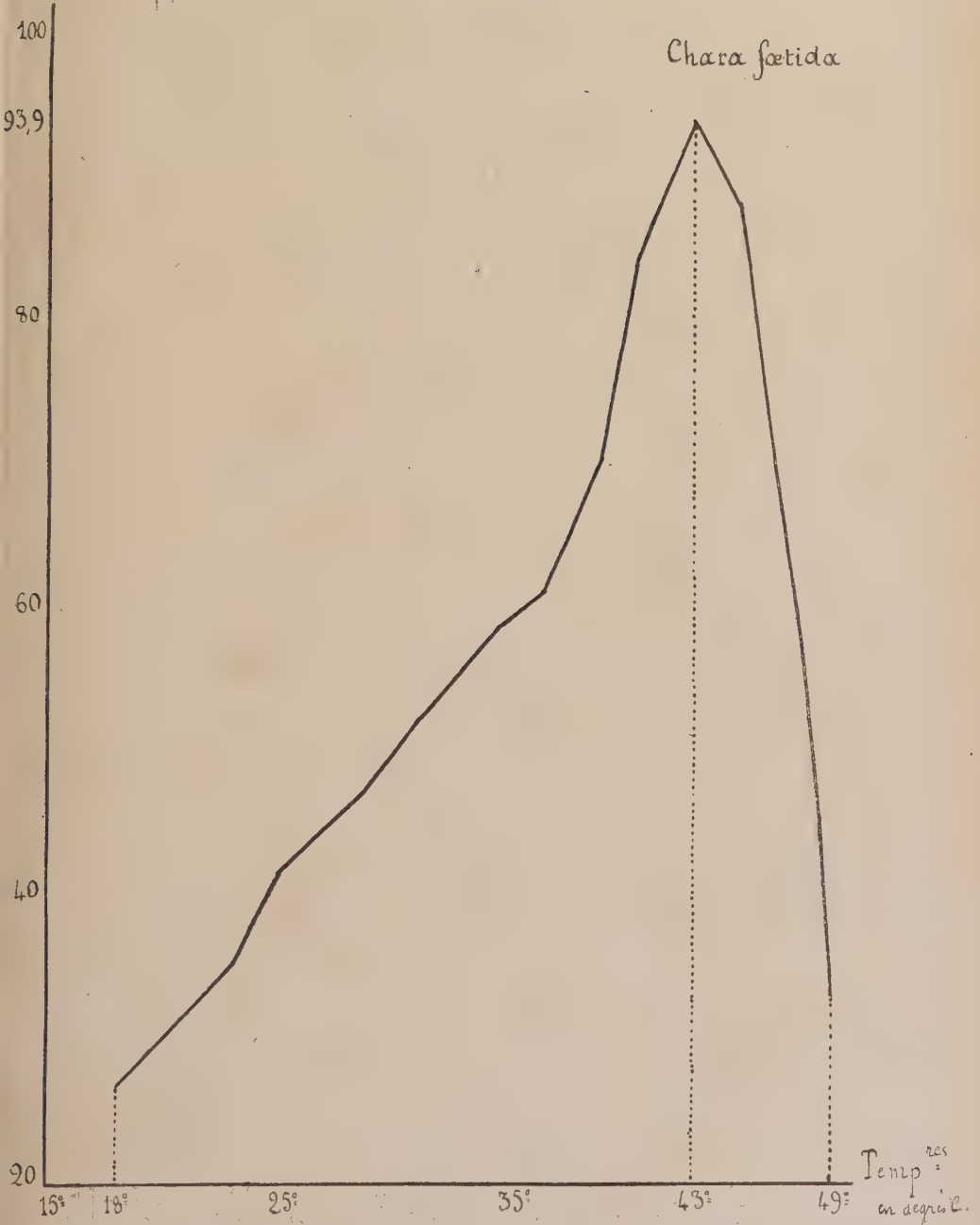
Le maximum de fluidité (ou le minimum de viscosité) est obtenu à 43° et l'arrêt des mouvements a lieu à 53°, c'est-à-dire à la même température que pour la plante précédente, elle-même aquatique.

Quand on l'a chauffée jusqu'à 42°, puis refroidie, on y constate une réversibilité exacte au bout d'une demi-heure environ, la vitesse de modification étant la même à l'aller et au retour.

A partir du maximum, il y a chute rapide : l'action est devenue irréversible et le protoplasme est définitivement lésé.

Graphique 6.

vitesse en μ/sec



Courbes représentatives des vitesses des granules cytoplasmiques dans la cellule mucinale de *Chara foetida*, en fonction de la température.

Famin. Action de la température.

La température de la plus grande vitesse est beaucoup plus élevée que celle indiquée par d'autres auteurs, en particulier par VELTEN (161) qui la situe à 34°5. Les vitesses elles-mêmes sont sensiblement égales à celles qu'indique ROMIJN (85) p. 25.

POILS FOLIAIRES DE *CUCURBITA PEPO*. — Tableau VIII. Graphique n° 7.

TABLEAU VIII

Vitesses protoplasmiques dans un cellule de poil épidermique de *Cucurbita pepo*.
Espace parcouru = 95 μ

TEMPÉRATURES EN DEGRÉS C.	TEMPS EN SECONDES	VITESSES EN μ /SEC.
25°	13, 2/5	7,1
32° 1/2	10 4/5	8,8
35° 1/2	9 1/2	10
37° 1/2	8 3/10	11,5
39°	8 1/10	11,7
41°	7 3/5	12,5
43°	7 4/5	10,8
45°	13 1/10	7,2
47°	18	5,3
49° 1/2	23 4/5	4

Le maximum de vitesse est atteint à 41°, et l'arrêt total vers 55°. La température de 37° marque un point d'inflexion de la courbe: l'accroissement de la vitesse diminue. Cette courbe présente d'ailleurs absolument le même aspect que son homologue chez l'*Elodea*.

CELLULE DE L'ÉPIDERME FOLIAIRE D'*IRIS GERMANICA*. — Tableau IX. Graphique n° 7.

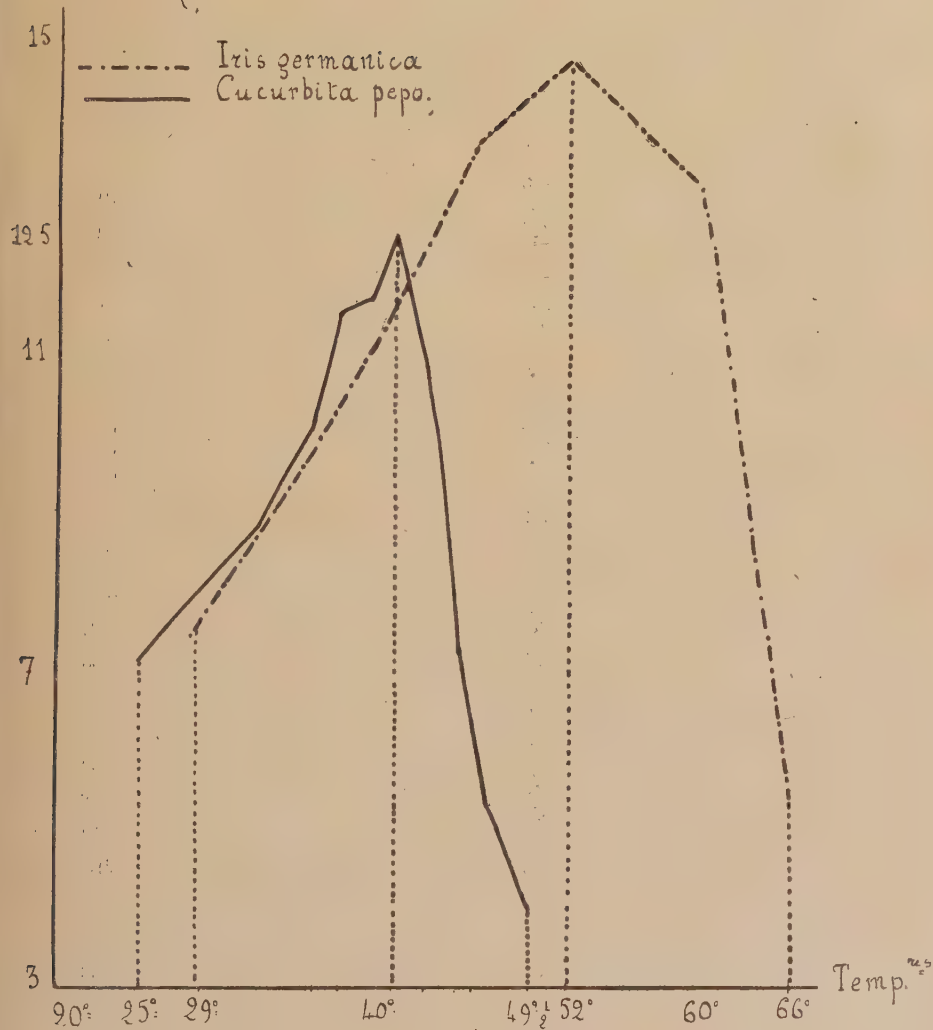
TABLEAU IX

Vitesses protoplasmiques dans la cellule épidermique de la feuille d'*Iris germanica*
Espace parcouru = 87 μ

TEMPÉRATURES EN DEGRÉS C.	TEMPS EN SECONDES	VITESSES EN μ /SEC.
29°	11 1/2	7,6
36°	8 9/10	9,8
40°	7 4/5	11,2
46°	6 2/5	13,6
52°	5 9/10	14,7
60°	6 3/5	13,2
66°	16	5,4

Graphique 7.

Vitesses en p/sec.



Courbes représentatives des vitesses cytoplasmiques chez la cellule de l'épiderme d'une jeune feuille d'*Iris germanica* et chez les poils foliaires de *Cucurbita pepo*.

Nous obtenons les mêmes courbes que précédemment, mais les températures cruciales sont différentes : maximum à 52° avec arrêt des mouvements à 68°, puis des trémulations non dirigées et l'arrêt total à 75°.

Cette plus grande résistance à la chaleur corrobore ce qu'indique FAURE-FREMIET (32 p. 44) : dans cette cellule, il faut chauffer à 50° pour y observer une altération des mitochondries. Nos observations à l'ultra microscope confirmeront ces différences spécifiques.

COMPARAISON DES RÉSULTATS ET CONCLUSIONS. — Nous pouvons dès maintenant comparer les résultats obtenus dans ces diverses études.

Les maxima de vitesses sont à des températures différentes, les arrêts à des températures assez comparables, sauf chez l'Iris.

ORGANITES OBSERVÉS	MAXIMA	ARRÊT
Grains chlorophylliens chez <i>Elodea</i>	34°	50-52°
Granules protoplasmiques de <i>Cucurbita pepo</i>	41°	54-55°
<i>Chara foetida</i>	43°	52-53°
Granules protoplasmiques d' <i>Elodea</i>	46°	54-55°
Granules protoplasmiques d' <i>Iris germanica</i>	52°	68°

Des différences nettes existent entre ces différents points. Il y a lieu cependant de séparer les mouvements chez *Elodea* (chloroplastes), des autres : ils ne semblent pas être de même nature, de par la constitution des éléments en cause, d'ailleurs. Les autres mouvements sont plus intimement liés aux modifications du cytoplasme lui-même que les précédents. La cyclose des grains chlorophylliens paraît être, au moins pour les faibles températures, causée par un transport passif analogue à celui d'un objet entraîné par un fluide. La vitesse atteint son maximum quand elle est égale à celle de ce fluide. Vers 34°, une modification physique ou chimique se produit, entraînant un changement des surfaces en contact entre le grain et le cytoplasme. Sensiblement à la même température, le cytoplasme de la cellule d'*Allium Cepa* a atteint sa première augmentation maxima de volume. Il y a probablement une relation entre les deux ordres de faits.

D'autre part, l'étude cytologique faite sur l'*Elodea* et sur les jeunes feuilles de *Vicia Faba* montre, suivant les températures, des différences notables dans les chloroplastes et dans le protoplasme.

A 22°, sous l'action de l'acide osmique du fixateur, les grains chlorophylliens prennent une teinte jaune bistre peu prononcée. A 34-36° et au-dessus, cette teinte fonce fortement et les chloroplastes peuvent renfermer aussi des granulations osmiophiles. Ils deviennent bistre foncé et même noirs à partir de 38°. Ces phénomènes sont très comparables à ceux étudiés chez les mitochondries ; à partir de ces températures, des modifications chimiques de plus en plus marquées ont lieu dans les constituants cellulaires étudiés. Le cytoplasme lui-même, qui ne se colore pas à 22°, prend une teinte jaunâtre à partir de 35° et présente de nombreux granules colorés en brun par l'acide osmique. Ce sont donc les graisses et les lipoides de la cellule que la température met en mouvement, et qui paraissent jouer un rôle important dans les variations que nous étudions. HEILBRUNN l'avait indiqué et nous partageons sa façon de voir.

Est-ce la modification chimique ou physique de ces corps qui cause les variations de volume du protoplasme et de la vacuole, ou est-ce une hydratation plus considérable de ce cytoplasme qui est cause d'une modification des lipoides ? Il ne nous est pas possible de répondre actuellement à cette question. Ces hypothèses peuvent être, provisoirement du moins, acceptées toutes deux quand l'on sait, d'une part, le rôle important des graisses dans la faculté d'imbibition et de « mouillabilité » (comme dit DEVAUX) de la substance vivante et, d'autre part, d'après HANSTEEN-CRANNER (39) que l'eau peut dissoudre une certaine quantité de ces lipoides.

Nous pensons que les variations des mouvements cytoplasmiques ne peuvent pas être seulement imputées à la modification des protéines du protoplasme, mais aussi à des modifications de ces graisses et lipoides, réversibles à leur début, irréversibles ensuite, qui peuvent d'ailleurs être préparatoires à la coagulation des albuminoïdes, mais la précèdent toujours notablement.

Y a-t-il successivement plusieurs modifications ? L'étude de l'*Elodea* montrant un maximum de vitesse aux mouvements de ses chloroplastes et un second maximum à ceux de ses granules, permet de le penser. Mais peut-être n'est-ce que le départ, puis l'accentuation de la même action.

Si, enfin, nous comparons les vitesses extrêmes observées, nous pouvons remarquer que la vitesse chez le *Chara* est la plus considérable et celle des grains chlorophylliens la plus faible. Les

autres sont très comparables, preuve supplémentaire qu'elles sont indicatrices d'un même phénomène et d'une certaine unité des cytoplasmes végétaux étudiés.

V. — TEMPÉRATURE ET NOYAU

Les recherches ont été effectuées sur *Vicia Faba*, soumises à deux sortes de conditions expérimentales :

1° les graines et les plantules auxquelles elles ont donné naissance ont constamment végété aux températures étudiées, de 30 à 38°.

2° de jeunes plantes, normalement vigoureuses et ayant poussé à la température du Laboratoire, ont été soumises à diverses actions calorifiques durant 36 heures, de 30 à 60°.

Le noyau dans les germinations à températures croissantes (fig. 8.). — A 22°, nous pouvons considérer que les conditions sont normales, et les différentes caractéristiques des noyaux et de leurs mitoses pourront, par suite, servir de termes de comparaison. Le noyau quiescent présente un réseau très fin et un ou deux nucléoles faisant corps avec lui. Toutes les phases de la caryocinèse somatique sont parfaitement nettes et conformes aux figures données par SHARP (93) et EICHORN (25).

Dans aucun cas, jusqu'à 32°, une modification quelconque n'a pu être observée, tant dans les cellules au repos que dans celles en voie de division (fig. 8, 22°, a, b, c.).

A 32°, tous les stades de la mitose se reconnaissent avec netteté. Cependant, les noyaux semblent plus volumineux et plus granuleux qu'aux précédentes températures (fig. 8, 32° a). A l'extrémité de la racine, apparaissent quelques anomalies concernant la séparation et le clivage des chromosomes. Ces dernières opérations se font mal, et il y a détermination de masses chromatiques irrégulières (fig. 8, 32° b) ; ou bien, sur chacun des filaments provenant du clivage longitudinal, se forment des renflements leur donnant l'aspect de cordes à nœuds (fig. 8, 32°, c) tandis que d'autres se raccourcissent et s'épaississent. Ces malformations sont l'exception, mais l'action prolongée de la chaleur est suffisante pour diminuer nettement le nombre des caryocinèses au bout de quelques jours, comme l'indique la courbe de croissance (page 19).

A 34°, les modifications précédemment décrites augmentent en nombre et en intensité. Le noyau au repos montre un réseau beaucoup plus apparent et le nucléole, souvent mamelonné et plus ou moins irrégulier, se détache de la substance nucléaire sous-jacente comme l'indique une auréole périnucléolaire, étroite encore, mais bien visible (fig. 38, 34°, a). Quelques noyaux mêmes présentent une pycnose particulière : la chromatine se rassemble en bandelettes, recouvrant comme d'une croûte discontinue un substratum d'aspect homogène (fig. 8, 34°, b). Les chromosomes ont des allures très irrégulières et se clivent de façon incomplète et anormale ; solidaires, sur une partie de leur longueur, les éléments-fils sont séparés sur une autre de leur partie présentant des renflements et amincissements successifs. Certains, paraissant vacuolisés, ne doivent cette apparence qu'à une solidarité incomplète des chromosomes. Il en est peu qui soient normaux, cependant la même cellule peut en renfermer des uns et des autres (fig. 8, 34, c).

A 36°, malgré de nombreuses coupes et de nombreuses expériences, il ne nous a pas été possible de trouver quelque mitose ou début de mitose que ce soit. Comme nous l'avons dit dans une note antérieure (31 c), « à proprement parler, il n'y a donc pas de germination au-delà de 36°, mais seulement sans doute une imbibition des tissus embryonnaires secs ». Les noyaux observés montrent un grand nombre de grains de chromatine au milieu de petites auréoles, et le noyau, dans son ensemble, acquiert, pour les colorants, une affinité bien plus considérable que dans les cas précédents. Le nucléole, toujours fragmenté, est entouré d'un vaste cercle faiblement teinté (fig. 8, 36°).

A 38°, les mêmes phénomènes sont observables, avec, dans bien des cas, une élimination des grains chromatiques ou nucléolaires que l'on rencontre encore près du noyau (fig. 8, 38°, c). Cette élimination est peut-être due à une rupture de la membrane que nous n'avons pas observée dans ce cas, mais qui l'a été lors de l'échauffement à 38°. D'autres noyaux, moins nombreux, présentent un aspect racorni et nécrobiotique fort net (fig. 8, 38°, a).

Le noyau à la suite de l'échauffement. — Les effets de l'élévation de température ne sont sensibles qu'à partir de 34°. Sur le noyau quiescent, il apparaît un réseau granuleux avec des amas irréguliers

de chromatine et, parfois, il se forme une mince auréole périnucléolaire, comme elle s'était formée précédemment dans les mêmes conditions. Quelques chromosomes augmentent de taille et présentent des altérations assez semblables à celles observées antérieurement à 32° (fig. 12, 32°). Le clivage prophasique se maintient et quelques noyaux prennent l'aspect croûteux déjà figuré. Mais, dans l'ensemble, il y a assez d'identité avec la température ordinaire, sauf naturellement qu'il se produit un arrêt immédiat de la croissance qu'on doit donc rapporter à des modifications autres que des modifications nucléaires. Les modifications chimiques doivent jouer là un grand rôle.

A 36°, le volume nucléaire augmente et (fig. 11, 36°) dans les mêmes proportions que le volume du nucléole lui-même, dans la racine du moins. Cette observation concorde exactement avec les variations du rapport nucléo-plasmatique, ainsi qu'avec les diamètres donnés à diverses températures par O. HARTMANN (40).

TABLEAU X

*Zea Maïs**Pisum sativum*

TEMPÉRATURE	RAPPORTS	DIAMÈTRE EN μ	RAPPORTS	DIAMÈTRE EN μ
31°	0,0505	10,9	0,0508	7
35°5	0,0579	11,2	—	—
37°	0,0614	11,4	0,0731	8
41°	0,047	11,5	—	—

L'auréole périnucléolaire se précise et le nucléole, cependant, ne comporte aucune modification appréciable. La prophase n'est pas altérée ; les clivages restent très nets ; la métaphase est normale, mais il y a fort peu de télophases. La taille des chromosomes a encore augmenté et le nombre de ceux qui sont touchés s'est, par rapport à 34°, considérablement accru (fig. 12, 36°).

Il nous a été possible de constater que la dernière phase de la division nucléaire est la plus profondément atteinte. Des noyaux-frères ont été observés, les uns nettement séparés, les autres réunis par une file régulière de grains de chromatine, les autres enfin par un filament continu (fig. 9). Ceci confirme les remarques de SCHRAMMEN (89) et celles plus récentes de HEILBORN (41). Il y a

enfin une répartition irrégulière des chromosomes dans le cytoplasme, dont les propriétés à cette température sont fortement changées, ainsi que nous l'avons vu déjà. L'axe de la mitose peut être complètement modifié : une même cellule, coupée dans sa plus grande longueur, montre une partie de ses chromosomes sectionnée longitudinalement et l'autre transversalement (fig. 10, 36°). YAMAHA (109) a signalé vers 35-36° une rotation de cet axe ainsi que LUNDEGARDH (65a), mais à 36°5.

A 38°, le noyau au repos présente toujours un réseau très visible, avec des amas irréguliers de chromatine qui lui donnent un aspect grumeleux. Il est encore d'une grande taille, comparable à la précédente. Les nucléoles se mamelonnent et commencent à se fragmenter. Il est contenu au milieu d'un cerne qui s'agrandit (fig. 11, 38°). La membrane nucléaire disparaît parfois, le noyau s'étale et se fragmente en éléments petits et fins qui se présentent parallèlement orientés les uns aux autres, comme l'avait noté LUNDEGARDH. A la télophase, cette membrane ne paraît pas se former et les noyaux restent diffus.

Les chromosomes sont généralement raccourcis et élargis (fig. 12, 38°). Les figures de division sont d'ailleurs peu nombreuses. Le filament du spirème est parfois visible, mais il est toujours lâche et épais. Sa fragmentation doit être rare, car aucun chromosome en provenant n'a pu être observé. Ces chromosomes se répartissent enfin d'une façon très irrégulière dans la cellule tout entière, comme l'indique la figure (fig. 10, 38°).

A 40°, il y a absence complète du réseau qui s'est transformé en granulations inégales et inégalement distribuées. Le noyau, d'un volume nettement inférieur à celui des précédentes températures, se déforme parfois. Le nucléole est fragmenté et entouré d'une vaste auréole, il peut prendre également un aspect croûteux.

Peu de figures de division sont reconnaissables. Il n'y a pas de spirèmes nets ; ils ont des aspects aberrants et sont formés de filaments et de masses chromatiques enchevêtrés ; les chromosomes, énormément déformés, mais légèrement plus petits qu'à 36° et 38°, restent adhérents les uns aux autres, constituant des blocs variables de chromatine (fig. 12, 40°).

A 50°, il y a une augmentation considérable de l'affinité du noyau pour les colorants. Il nous a fallu régresser plus de deux

heures dans l'alun à 6 %, et beaucoup de noyaux sont demeurés d'un noir d'encre. Le nucléole se vacuolise comme l'indiquèrent PRILLIEUX (83) et YAMAHA (109) mais beaucoup plus tôt d'après ce dernier : (34-38°). Ces nucléoles, conformément aux observations

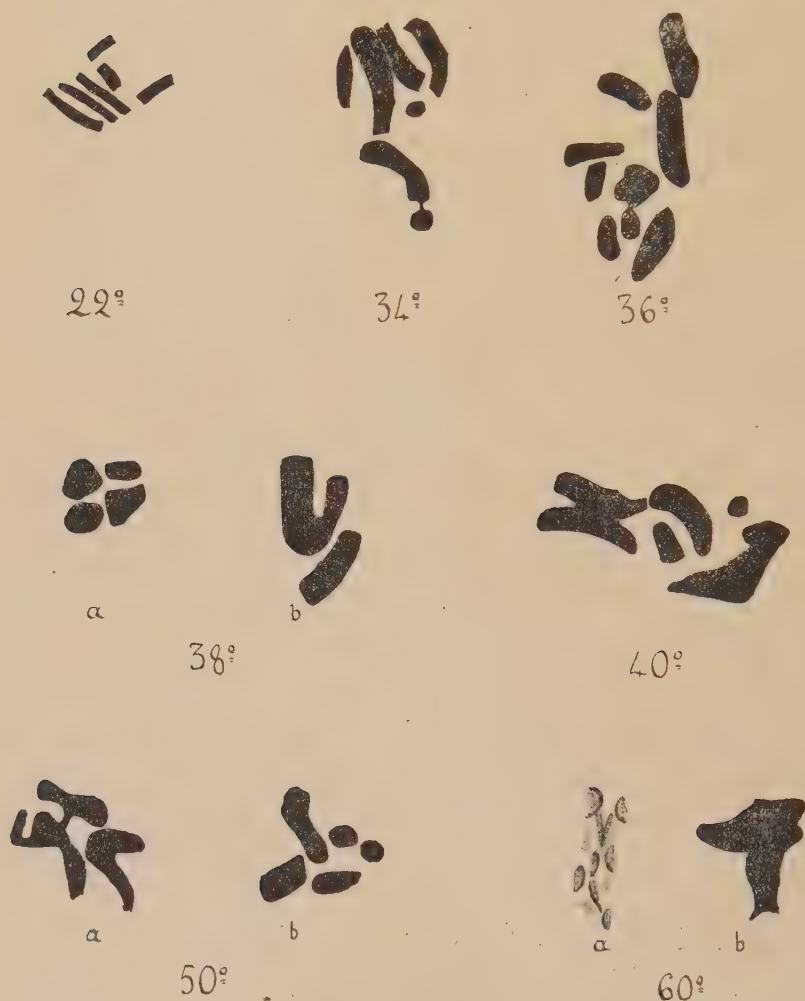


Fig. 12. — Tailles et aspects des chromosomes dans la racine de *Vicia Faba*, après 36 heures aux températures indiquées. — Grossissement : 2.100 (sauf à 22° : 1.800). Helly.

de DE LITARDIÈRE (62) restent peu colorés, alors que les noyaux apparaissent fortement teintés. Mais, contrairement à ce qu'il affirme, l'action de la température est très déformante. Les spirèmes sont rétrécis, ratatinés, très souvent fragmentés en masses irrégulières. Les chromosomes sont de tailles variées, de toutes formes, de toutes orientations, mais cependant leur grosseur est plus faible qu'aux précédentes températures (fig. 12, 50°). Ils ne se dispersent plus dans tout le cytoplasme comme auparavant, car sa fluidité, nous le savons, a énormément diminué et ils forment des amas irréguliers dans le milieu de la cellule.

A 60°, il y a diminution considérable des volumes nucléaire et nucléolaire ; le noyau est généralement déformé, plus ou moins dentelé. Il prend souvent un aspect fripé, parcheminé, en même temps que granuleux. Le nucléole renferme parfois un granule central, fortement coloré par l'acide osmique du fixateur de Mèves, ainsi que de nombreuses petites vacuoles ; il est entouré d'une très grande auréole. Le réseau n'est plus visible et on trouve quelquefois encore des granulations chromatiques.

Les figures des noyaux en division sont très fortement altérées et difficilement reconnaissables. Seuls, quelques spirèmes sont bien conservés. Les chromosomes sont déchiquetés et informes et les plaques équatoriales formées d'éléments à peine visibles et vacuolisés (fig. 12, 60°).

Conclusions. — Ainsi, cette étude des noyaux et de leur division montre que l'action maxima de la température se fait sentir aux environs de 36-38°, soit qu'elle empêche toute caryocinèse, soit qu'elle modifie celles qui sont en voie d'évolution.

Dans les mêmes conditions, la taille des noyaux au repos est la plus considérable, ainsi que celle des nucléoles (fig. 11).

L'élévation de température rend de plus en plus apparente la structure réticulaire du noyau, en même temps qu'elle amène une séparation de plus en plus considérable entre le nucléole et la substance avoisinante. L'affinité pour les colorants croît pour la chromatine, tandis qu'elle décroît pour la substance nucléolaire.

La taille des chromosomes augmente énormément à partir de 34° pour atteindre son maximum à 38°, pendant que leur possibilité d'individualisation diminue et que les changements de

leurs formes, bien que se traduisant dans l'ensemble, par un raccourcissement et un épaississement, deviennent de plus en plus irréguliers (fig. 12). Nous n'avons pas trouvé de vacuolisation de la « caryotine », comme l'indique YAMAHA, à 44°. Cette action est sans doute due à l'effet de l'eau distillée. Elle ne se produit, dans nos expériences, qu'à partir de 50°.

L'action de la chaleur sur le nucléole (fig. 11) amène un gonflement, surtout chez la racine, jusqu'à 36°, puis à 38°, une lobulation prélude d'une fragmentation qui s'observe nettement à 40°. Le volume des globules formés semble indiquer une perte de substance au moment de la division. Les températures de 50° et 60° déterminent une vacuolisation qui n'avait, auparavant, que rarement été observée et, à 60°, le volume du nucléole diminue dans les mêmes proportions que celui du noyau. YAMAHA l'observe beaucoup plus tôt, à partir de 34°, et il en conclut que la « nucléine » se coagule plus tôt que le « caryoplasma ». Cette déduction nous paraît un peu prématurée. L'eau distillée hâte sans doute la vacuolisation. Quant aux températures de coagulation, elles sont très certainement bien supérieures à celles qu'il indique et l'ultramicroscope nous amènera à des conclusions différentes des siennes.

Les différentes phases de la caryocinèse sont inégalement touchées : ce sont les télophases qui sont d'abord atteintes, puis les anaphases, les métaphases et les prophases le sont ensuite. Cela doit sans doute être d'une part en relation avec les changements chimiques qui accompagnent la mitose et, d'autre part, avec les actions physiques de la température sur le cytoplasme et les constituants du noyau. Rappelons que la membrane nucléaire se montre sensible à ces conditions anormales.

Cependant, ces constatations ne nous paraissent pas suffisantes pour conclure d'une façon ferme sur les différences diverses entre les phases de la division nucléaire, tant au point de vue physique qu'au point de vue chimique. EPHRUSSI (29) a tenté avec succès de le faire sur un matériel qui s'y prêtait : les œufs d'Oursin. Nous avons indiqué ses principales conclusions : elles ne concordent pas exactement avec les nôtres. Il accorde une grande importance aux rapports étroits existant entre cytoplasme et noyaux ; selon lui, durant la prophase, l'élévation de température agit « sur un mécanisme protoplasmique régissant l'évolution nucléaire », mais

ce mécanisme étant réversible, il y a reprise de l'activité nucléaire. Durant l'anaphase, autre stade sensible, le retard mis au retour à des conditions normales est suffisant pour amener des anomalies de constitution.

Il est certain qu'il y a interdépendance étroite entre les deux constituants de la cellule ; toute modification du cytoplasme entraîne des modifications du noyau dans la constitution et l'emplacement de ses parties. Les tailles maxima des chromosomes coïncident avec les premiers changements visibles du cytoplasme, en particulier avec son augmentation de volume ; il en est de même pour la grosseur des noyaux. Mais il n'est pas possible d'en déduire des relations de cause à effet.

En aucun cas, au moins avant 45°, on ne saurait uniquement ramener la cause de ces actions à la coagulation de telles ou telles protéines et aux différences entre leurs points de coagulation : il est probable que leur diversité n'est pas sans influence sur les phénomènes étudiés, mais il n'y a pas de véritable confirmation expérimentale.

VI. — ETUDES ULTRAMICROSCOPIQUES

Elles ont été faites sur les cellules épidermiques des écailles du bulbe d'*Allium Cepa*, du pétale de *Tulipa suaveolens*, de la feuille d'*Iris germanica* et sur les cellules marginales de la feuille d'*Elodea*.

La description de ces différents types de cellules examinées dans des conditions normales, a été faite très exactement par GUILLIERMOND (37 c) qui les a également figurées.

Cellule de l'épiderme des écailles bulbaires d'Allium Cepa. — A la température ordinaire, elle présente un noyau légèrement opalescent avec un ou deux nucléoles optiquement vides. Le cytoplasme paraît parfaitement noir, mais chondriocontes et mitochondries sont visibles par leur contour faiblement lumineux. On observe aussi de nombreux granules lipidiques animés de mouvements orientés, entraînés le long de fines trabécules protoplasmiques.

Au fur et à mesure que la température s'élève, ces mouvements deviennent plus rapides et atteignent leur vitesse maxima vers 42°, température égale à celles déjà mesurées dans d'autres cellules comparables. A partir de ce moment, les granules n'avancent plus

que par saccades et sont animées d'intenses trémulations browniennes.

Dès que la température de 50° est atteinte, le noyau prend un aspect de plus en plus granuleux et il apparaît plus teinté que précédemment : mais ce n'est que le début de ces phénomènes.

Vers 62-65°, il y a coagulation du protoplasme ainsi que le montre nettement son changement de coloration : il devient d'un blanc neigeux et tout mouvement cellulaire cesse. Quand on continue de chauffer un peu plus haut, vers 70°, il y a rétraction brusque accompagnée de la rupture des travées cytoplasmiques et d'un mouvement soudain du noyau qui se dentelle sur ses bords.

Le chondriome ne nous a présenté que des variations de formes, mais aucun changement de teintes.

Cellule de l'épiderme foliaire d'Iris germanica. — Les phénomènes étudiés ont absolument la même allure que dans le cas précédent.

La cellule contient des plastes qui s'altèrent dès 40°, et présentent de nombreux granules lipoïdes brillants vivement agités de mouvements browniens. Ces mouvements ne cessent que vers 70°, température à laquelle ces plastes, complètement déformés, ne renferment plus que des amas grisâtres et immobiles (fig. 12).

La coagulation du protoplasme n'a lieu que vers 72-75° ; plastes et globules brillants s'agglomèrent alors en petites masses blanchâtres bien observables, pendant que l'ensemble de la cellule prend une teinte grise assez peu prononcée.

Le noyau de cette cellule subit également des modifications visibles (fig. 14).

A 30°, il a le même aspect que celui de la cellule d'*Allium Cepa*. A 53°, il prend une teinte blanchâtre pendant que les deux nucléoles restent optiquement vides. A 72-75° seulement, les nucléoles coagulent à leur tour pendant qu'une zone sombre les entoure comme d'un halo, que le noyau se rétracte en un coagulum irrégulier et granuleux. Ainsi donc, les nucléoles se modifient bien après que le noyau a commencé lui-même à changer, ce qui est contraire aux conclusions de YAMAHA (108).

Cellule marginale de la feuille d'Elodea. — Les mouvements des chloroplastes et des granules protoplasmiques (lesquels ne

sont que faiblement brillants) peuvent cependant être suivis dans les mêmes conditions qu'à la lumière directe : les mêmes températures remarquables ont été mesurées.

Vers 52°, ces mouvements ne sont plus dirigés et font place à une agitation brownienne décroissante quand la température s'élève.

Vers 65°, se produit un arrêt total de toute cette agitation, c'est-à-dire un début de coagulation protoplasmique, ce que confirme l'apparition d'une teinte grisâtre dans la cellule.

A 70°, il apparaît dans les vacuoles de nombreux grains brillants, frénétiquement animés de mouvements browniens, dont l'aspect rappelle d'une façon frappante celui des paillettes scintillantes que LAPICQUE (55) a décrites dans les cellules de la *Spirogyre*. Ces particules s'agglomèrent en une masse plus ou moins volumineuse, dont les trémulations s'arrêtent vers 85°. Le protoplasme s'est d'ailleurs fortement rétracté à 75°.

Dans les cellules d'*Elodea*, le noyau se déplace lentement d'une façon tout autonome, puisqu'il peut aller même en sens inverse du sens cyclique de l'ensemble cytoplasmique. Il peut ainsi, au cours d'une expérience (une demi-heure) parcourir la moitié d'une cellule. Il va de plus en plus vite quand la température s'élève ; vers 55°, il s'arrête et devient opaque.

Conclusions. — GUILLIERMOND (37 c pp. 83 et 84 de son mémoire) a parfaitement décrit les phénomènes agoniques que présente au fond noir la cellule. Ses conclusions sont identiquement applicables à la mort sous l'action de la chaleur et nous nous permettons de les reproduire en partie :

« Les premiers signes de la coagulation du cytoplasme se manifestent par une augmentation de l'opalescence du noyau, puis par la cessation brusque des courants cytoplasmiques, lorsque ceux-ci existent, il se traduit par l'arrêt des granulations lipoides ; celles-ci présentent alors, pendant quelque temps, des mouvements browniens. En même temps, on assiste fréquemment à la production, dans les vacuoles, de granulations animées de mouvements browniens. Bientôt après, le cytoplasme prend un aspect opalescent et se remplit de petites granulations confuses (phase des nébuleuses non résolubles), puis se transforme

« entièrement en une masse constituée par d'innombrables grains, « parmi lesquels il n'est plus possible de distinguer les granulations « lipoïdes et qui donnent au cytoplasme tout entier une forte « luminosité (aspect neigeux), analogue à celle qu'offrent les cellules « fixées (stade des nébuleuses réductibles). Le noyau prend le « même aspect, mais plus lumineux et plus compact ».

Cependant, nous avons séparé ces différents actes successifs de la coagulation en fonction de la température. L'arrêt des mouvements a lieu vers 50-53° et coïncide avec le début de la coagulation du noyau. Le protoplasme par contre ne s'est pas encore modifié d'une façon visible. Il ne le fait que plus tard vers 65-70° et cette modification est suivie, quelques degrés plus haut, d'une forte rétraction.

CHAPITRE III

CONCLUSIONS GÉNÉRALES DE L'ÉTUDE CELLULAIRE

Chaque chapitre a été terminé par des conclusions l'intéressant
Nous les résumons :

Cytoplasme. — 1° Les mitochondries sont des éléments stables de la cellule : elles résistent à la chaleur, tout en changeant de formes et en laissant apparaître leurs lipoides et protéines de constitution.

2° Le vacuome, dans l'ensemble, diminue de volume au profit du protoplasme. Mais cette diminution n'est pas régulière, elle se fait en trois temps : d'abord une augmentation du protoplasme, puis une réduction, puis une seconde augmentation définitive.

3° Les mouvements des corpuscules intracellulaires ne sont pas comparables : ils doivent être classés en mouvements chloroplastiques et en mouvements cytoplasmiques proprement dits, à maxima différents. Ces maxima seraient liés à des modifications des graisses et des lipoides de leurs cellules, et l'arrêt des mouvements à des modifications des protéines, l'ensemble étant irréversible et préliminaire à la coagulation.

Noyau. — 1° Son volume le plus considérable est atteint à 38°, de même que celui des chromosomes et du nucléole.

2° Les phases de la mitose sont inégalement atteintes, successivement de la télophase vers la prophase.

L'Ultramicroscope confirme les précédentes conclusions en montrant :

1° que les mouvements cytoplasmiques s'arrêtent avant qu'il y ait coagulation observable, mais en même temps que le noyau présente des altérations évidentes ;

2° que le nucléole coagule après le noyau ;

3° que le protoplasme lui-même coagule vers 70°.

Il y aurait donc quatre zones de températures cruciales pour la cellule

36-38° : Protoplasme fluide et subissant, ainsi que le chondriome, ses premières modifications physiques et chimiques réversibles si l'action est peu prolongée.

— Système nucléaire au maximum de développement.

— Plus de germination.

41-46° : Maximum de fluidité cytoplasmique.

— Zone des modifications irréversibles.

50-55° : Arrêt des mouvements orientés.

— Modifications physiques et chimiques définitives des constituants cellulaires.

65-75° : Coagulation du cytoplasme et du noyau,

En dehors du fait bien connu, et d'ailleurs presque évident, que la viscosité du cytoplasme conditionne la répartition des chromosomes dans la cellule, rien n'a pu être établi de vraiment positif sur les relations entre protoplasme, noyau et température.

En comparant ces observations avec quelques observations faites dans le règne animal, nous constatons une coïncidence presque parfaite.

Ainsi, V. HENRI, LALOU, A. MAYER et STÖDEL (43) mesurant la variation de viscosité du plasma sanguin avec la température, donnent les nombres suivants :

TEMPÉRATURES	40°	58°	60°	62°	64°	66°	68°
VISCOSITÉ	1,7	1,7	1,7	1,7	2,65	3,42	9,44

LECOMTE DU NOÛY (57) étudiant la coagulation par la chaleur du sérum sanguin, en place le début à 55°, température d'arrêt des mouvements cytoplasmiques végétaux orientés.

DERUAZ et BAUMAN (19) signalent sur les larves de *Bombinator pachypus*, que la vitesse des cils devient presque nulle à 36° C. et totalement nulle à 40° C : la première température est celle de la non-germination des graines.

Colloïdes végétaux, colloïdes animaux, graines et jeunes larves : tout cet ensemble présente une remarquable unité.

TROISIÈME PARTIE

LES ÉCHANGES CHIMIQUES EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE ENTRE LA PLANTE ET SON MILIEU

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE

L'étude de la pénétration de l'eau et des sels qu'elle tient en dissolution a, tout naturellement, à cause de son importance agricole, suscité de nombreux travaux. En très grande majorité, ils ont été faits à la température ordinaire. Nous n'en reprendrons que les résultats essentiels en renvoyant, pour la mise au point et la discussion des méthodes et observations, au mémoire de PIRSCHLE et MENGDEHL (80), lequel est suivi d'une bibliographie complète.

Les méthodes employées peuvent être classées en deux catégories :

1^o Celles où les auteurs utilisent des fragments découpés d'organes, plus particulièrement de tubercules ou de racines (Pomme de terre, Topinambour, Carotte, etc...) ou des hampes florales (Pissenlit, Oignon).

2^o Celles, selon nous bien supérieures, où la plante elle-même est mise en expérience.

Seules, les premières méthodes ont, à notre connaissance,

donné lieu à des recherches sur l'action de la température et les échanges avec le milieu ambiant.

Quelques études, telles que celles de VESQUE (102), PFEFFER (77) avaient montré que les racines des plantes absorbent d'autant plus d'eau que la température est plus élevée, que, de même, en pareil cas, les couleurs d'aniline pénétraient plus vite, que la plasmolyse et la déplasmolyse étaient plus rapides. Le premier travail méthodique sur cette question est celui de VAN RYSSSELBERGHE (100). Il utilisa le fait que les tissus ayant une certaine longueur se raccourcissent dans des solutions plasmolysantes, et s'allongent ensuite dans l'eau. Il constate un accroissement remarquable de la vitesse de pénétration de cette eau avec la température. Égale à 1 à 0°, elle vaut 6 à 16° et 8 à 30°. La perméabilité des cellules aux sels dissous varie également dans le même sens.

DELF (17) a repris ces recherches. Il remplace les solutions à 25 % de sucre employées par VAN RYSSSELBERGHE, par des solutions « subtoniques », renfermant de 2,5 à 4 fois moins de sucre. Il se sert du pédoncule floral de l'Oignon et du Pissenlit qu'il fait traverser par de l'eau pure, puis par la solution sucrée. Il mesure en l'amplifiant par un système optique, la variation de longueur qui est de l'ordre d'un 1/10^e de millimètre. Les températures étudiées vont de 5 à 40°. Il note que la température de 35° marque une différence nette dans la façon de se comporter du tissu, ce qui concorde avec toutes nos observations, y compris nos observations cytologiques.

Températures	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
Oignon	0,36	0,44	0,50	0,66	1	1,7	2,9	5
Pissenlit		0,22	0,30	0,50	1	1,9	1,9	5

REDFERN (84) utilisant la méthode de STILES et JORGENSEN (95) montre que des disques de Carotte absorbent mieux les colorants vitaux quand la température s'abaisse ; cela est d'autant plus net que la dilution du colorant est plus grande. L'auteur en conclut que absorption et combinaisons chimiques sont deux choses bien différentes.

PETRIE (76) a fait une série de recherches méthodiques sur la température et l'inégale pénétration des ions dans les plantes. Comme les précédents auteurs, il épuise d'abord des disques de Carotte par l'eau distillée, puis il les immerge dans des solutions

de NH_4Cl , SO_4 (NH_4) $_2$, KCl , (NO_3) $_2\text{Ca}$ à $1/10^6$ de molécule par litre. Il dose le liquide après un certain nombre d'heures de contact. Les températures ont été étudiées de 4° à 30° , et l'auteur note qu'à partir de 20° , la stérilisation est nécessaire sans indiquer cependant, avec toute la précision désirable, comment il la pratique. Il conclut en disant que, lorsque la température s'élève, les anions (Cl , SO_4 , NO_3) sont plus fortement absorbés et les cations (NH_4 , K , Ca) plus faiblement. Les courbes, bien que variant en sens inverse, conservent une remarquable similitude. Il pense, en le disant prudemment, que l'explication de ces faits pourrait être cherchée dans les échanges de bases entre les colloïdes dissociés par les acides et les sels. La question est en effet fort complexe, et il ne paraît pas encore possible de donner une théorie, même à peine satisfaisante, de ces phénomènes.

La méthode de STILES et JORGENSEN a donc été appliquée sur une grande échelle. Dans d'autres recherches, moins nombreuses d'ailleurs, les jeunes plantules vivantes ont été mises en expérience. Il n'entre pas dans nos intentions de les rappeler toutes et moins encore d'en discuter les parties théoriques, cela ne serait plus du cadre de ce travail.

TRUE et BARTLETT (99), examinant les échanges d'ions entre les racines de jeunes Lupins blancs et le milieu ambiant, concluent que ces racines abandonnent à l'eau distillée leurs sels jusqu'à épuisement complet et mort, que PO_4KH_2 et KCl en solutions diluées (de 0, molécule 000006 à 0,000208 par litre pour le premier par exemple) ont le même effet, tandis que SO_4K_2 , NO_3K et NaCl sont faiblement absorbés; dans un deuxième (98 b) et un troisième travail (98c), ils constatent que, dans les solutions contenant deux ou trois sels, les cations Ca , Mg et K exercent une influence prédominante, quels que soient les anions qui les accompagnent, lesquels n'ont aucune action sur la pénétration. PANTANELLI (75 a, b, c) étend la question et conclut que, d'une façon générale, les cations sont absorbés plus rapidement que les anions, avec cependant quelques exceptions, notamment celle des sulfates chez les Dicotylédones; il observe également une périodicité de l'absorption dans le temps qu'aucun auteur n'a retrouvée depuis. JOHNSON (49) montre, à la suite de nombreuses expériences, que Ca est absorbé en plus grande quantité dans les tissus morts que

dans les tissus vivants, du moins chez la Betterave, la Carotte, le Maïs doux. HOAGLAND (44), opérant sur KCl, constate une pénétration égale de K et de Cl.

REDFERN (84), à la suite de recherches sur l'absorption des ions de CaCl_2 par le Pois et le Maïs, indique que l'ion Ca est absorbé plus vite que l'ion Cl, ce qui confirme les remarques de PANTANELLI.

En 1928, NIKLEWSKI, KRAUSE et LEMANCZYK (73) établissent que l'ion K est utilisé de la façon suivante par rapport aux anions avec lesquels il est associé :



Les recherches les plus complètes sur ce sujet ont été faites par PIRSCHLE et MENGDEEL (80) et par PIRSCHLE (79) seul.

PIRSCHLE et MENGDEHL ont fait une véritable enquête sur l'utilisation des ions par de jeunes plantules de Pois. Ils ont opéré sur un très grand nombre de sels variés : KCl, NO^3K , SO^4K_2 , PO^4KH_2 , NH_4Cl , NO^3NH_4 , $\text{SO}^4(\text{NH}_4)_2$, $\text{PO}^4\text{H}_2\text{NH}_4$, $\text{CaCl}_2\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NO}^3)_2\text{Ca}$, $\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NO}^3)_2\text{Mg}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{SO}^4\text{Mg}\cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Ils trouvent qu'il n'y a généralement aucune équivalence entre l'absorption du cation et de l'anion d'un même sel, que la plante absorbe des ions et non des molécules, que le végétal semble garder tout ce qu'il absorbe, ce qui sans doute est dû à une modification de la polarité du protoplasme ou de la membrane, que le pH varie fortement sans que, comme PANTANELLI l'avait clairement indiqué, il y ait une étroite proportion entre l'absorption des ions et ces variations, et qu'enfin l'intensité d'absorption varie et décroît de K à Ca et de Cl à SO^4 .

Dans un travail plus récent, PIRSCHLE (79) étudie l'utilisation de l'azote nitrique dans un milieu contenant tous les éléments nécessaires à la plante (sauf l'azote), plus 0 g. 23 de NO^3K et 0 g. 41 de NO^3Na par litre; de même, pour l'azote ammoniacal, avec 0 g. 23 de $\text{SO}^4(\text{NH}_4)_2$ et 0 g. 19 de NH_4Cl comme sources d'azote. Le travail porte sur un grand nombre de plantes; en ce qui concerne le Pois (page 621) le pH optimum va de 5 à 6 et, dans ces conditions, l'azote nitrique est absorbé plus fortement que l'azote ammoniacal.

Très récemment, P. MAZÉ, P.-J. MAZÉ et Mme ANXIONNAZ (66),

par une méthode en grande partie aseptique, ont montré que la plante fixe des quantités d'eau distillée qui varient en sens inverse des concentrations des solutions nourricières ; et ils concluent en disant que la fonction d'absorption des racines est méthodiquement dirigée et d'une grande souplesse.

CHAPITRE II

TECHNIQUE DES CULTURES

Les recherches ont été effectuées à deux températures seulement : celle du Laboratoire peu variable, de 17° environ et celle de 35°. Pourquoi cette dernière température ? Les résultats des observations sur l'action de la chaleur, sur la croissance du Pois et sur la cellule nous ont amené à penser que ces conditions particulières, immédiatement prémortelles, devaient causer des troubles profonds dans les échanges chimiques entre la plante et son milieu. Les cultures mises au Laboratoire n'ont qu'une valeur de comparaison ; c'est le motif pour lequel nous n'en discuterons pas, avec toute l'ampleur désirable, les données.

Des essais préliminaires nous ont incité à rejeter les méthodes imitées de STILES et JORGENSEN. En effet, le lavage préalable à l'eau distillée modifie énormément les tissus, tant dans leur structure que dans leur constitution. Les tissus choisis ont tous une vie ralentie et contiennent des substances figurées comme l'amidon ou bien de l'inuline. Ajoutons à cela les extrêmes difficultés d'asepsie rigoureuse pour effectuer correctement un grand nombre d'expériences.

Il eut été plus commode d'utiliser des sels en solutions pures. Mais il nous a été facile de constater que la plupart des sels employés isolément sont toxiques pour les plantules, même ceux qui, comme NO^3K , sont utiles au végétal. Celui-ci est nocif à la dose de 3 pour 1.000 et le chlorure d'ammonium à 1 pour 1.000. S'agit-il vraiment d'une nocivité spécifique ou est-ce le résultat de l'absence, dans le milieu nutritif, de certains autres éléments ? Au-dessous d'une certaine concentration, nous penchons volontiers pour la seconde explication, telle d'ailleurs que l'ont donnée OSTERHOUT (74, a, b, c, d) et LOEB (63 a, b.). A leur instar, nous avons, dans

chaque cas, combiné des milieux « balancés » contenant tous les éléments nécessaires à la plante, avec, comme source unique, par exemple de K et de NO_3 , NO_3K . Les sels tampons ajoutés font que les mesures de pH ne peuvent guère donner de renseignements utiles.

PIRSCHLE et MENGDEHL ont d'ailleurs employé des moyens analogues ; nous ne l'avons connu qu'après la mise au point de nos propres expériences. Mais, outre qu'ils ne se préoccupent aucunement des conditions d'asepsie, ce qui n'était pas nécessaire dans leur cas, la constitution de leurs milieux est telle que souvent des substances autres que la substance étudiée sont en plus grande quantité, ce qui, si nous en croyons TRUE et BARTLETT (99 b) doit troubler profondément les résultats. Ainsi, pour KCl, nous trouvons :

KCl.....	1 g. 41	
$(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$	2 g.	
Po_4NaH_2	0 g. 5	
So_4Mg	0 g. 5	
Sels de fer	traces	
Eau	2 litres	(p. 307)

Enfin, les deux auteurs allemands n'indiquent nulle part les conditions de température de leurs recherches. Furent-elles les mêmes ? Furent-elles différentes ? Le savoir aurait son importance.

Il fallait également, les techniques de dosage étant choisies, déterminer le nombre de plantes à mettre en expérience. De nombreux tâtonnements ont été nécessaires. Ce nombre en effet doit être suffisant pour que les différences mesurées soient nettement en dehors des erreurs systématiques de dosage ; et, d'autre part, il ne doit pas, à cause des conditions d'opération, être trop élevé ; nous nous sommes arrêté au nombre de 5 plantules.

A 35°, température presque optima pour les microorganismes, la contamination est rapidement décelée. Toujours dans ce cas, avant le troisième jour, le liquide devient trouble et les plantes meurent. Nous nous sommes demandé cependant s'il suffisait que le milieu restât clair pour qu'il puisse être considéré comme aseptique. Des ensemencements ont été faits au hasard, tant des cultures à 17° qu'à celles à 35°, sur de la gélatine sucrée et peptonée,

mise ensuite à 37° : quand la solution reste claire, aucune colonie microbienne n'apparaît, elle est donc aseptique.

Méthodes employées. — Stérilisation, germination et végétation des jeunes Pois ont été obtenues et conduites comme dans les recherches morphologiques.

Le milieu nutritif permettant d'obtenir des plantes vigoureuses, était du liquide de Knop dilué au 1/30^e, dilution suffisante pour réduire les erreurs d'ordre chimique à une quantité négligeable comme nous le verrons plus loin.

Les milieux d'étude, dont la constitution sera indiquée pour chaque sel, étaient préparés dans des vases d'Erlenmeyer de 2 litres, munis d'un bouchon à deux tubulures, l'un garni d'un siphon, l'autre d'un tube bouché d'ouate permettant, par égalité de pression avec l'extérieur, l'écoulement des solutions. L'ensemble était stérilisé 30 minutes à 120° et l'appareil s'amorçait de lui-même ; il permettait ainsi, avec quelques précautions élémentaires, le transvasement aseptique de 50 cc. du milieu étudié dans des tubes de verre Pyrex de 30 mm. de diamètre intérieur et de 25 cm. de hauteur, fermés par un tampon serré de coton stérilisé.

Cinq plantes d'une douzaine de jours, choisies aussi extérieurement comparables que possible, étaient aseptiquement transportées dans le tube ainsi préparé, et ce dernier, soigneusement fermé, recouvert d'un capuchon de verre afin d'éviter l'évaporation, était transporté à l'étuve ou laissé au Laboratoire. Le niveau du liquide était d'ailleurs indiqué ; et il nous a été facile de constater qu'il n'y avait aucune perte d'eau, même à 35°, durant le temps de l'expérience.

Racines et graines plongeaient dans la solution.

Les récoltes furent faites en général tous les 3, 6, 9, 12 et 15 jours. Les végétaux étaient divisés en trois parties : racines, tiges et cotylédons ; celles qui étaient mouillées étaient soigneusement essorées entre des feuilles de papier filtre. Chacune des parties était pesée fraîche, puis sèche, après un séjour de 24 heures à l'étuve, à 90°. Le liquide fut ensuite analysé.

Acides et bases ont été dosés. Dans les cas des sels non ammoniacaux, il a été recherché l'ammoniaque dans le milieu et, dans tous ces cas, il en a été trouvé des quantités non négligeables.

Tous les résultats ont été ramenés à cinq plantes et 50 cc.

Remarque. — A la lecture des poids frais et des poids secs, on pourra s'étonner que les nombres trouvés n'aient pas été rapportés à l'une ou à l'autre de ces quantités. Il faudrait, pour cela, connaître exactement ce que, physiologiquement, signifient ces poids et quelle en est la fraction vraiment active. La question est amplement discutée pour le métabolisme de base dans le règne animal par TERROINE (97 page 61 et suiv.). On pourrait donc commettre une grave erreur en prenant un criterium plutôt qu'un autre.

D'autre part, la régularité de la plupart de nos courbes, du moins à la température ordinaire, montre que, si les différences individuelles jouent, elles doivent fort peu influencer sur le résultat global. Il suffit de choisir des plantes ayant pour elles 5 une quantité de racines sensiblement égale à 5 autres plantes ; quand les jeunes Pois ont le même âge, qu'ils ont végété dans les mêmes conditions, c'est très généralement le cas ; la surface d'échange paraît l'emporter sur les autres variables.

Causes d'erreurs chimiques liées à la transplantation. — Nous faut-il tenir compte de la quantité de sels introduite du milieu de culture normale dans le milieu étudié ? L'examen du cas de l'ion NO_3 permet de conclure qu'il n'en est rien. Dans le Knop ordinaire, il y a un gramme de nitrate de calcium anhydre par litre, soit, 34 mmg. par litre de Knop dilué au $1/30^e$ ou 0 millimolécule 2 [$(\text{NO}_3)_2\text{Ca} = 164$], donc 0 millimolécule 4 d'acide azotique. Si nous admettons (ce qui est considérable, les végétaux étant secoués durant leur transport) que cinq plantes amènent cinq cc. de solution, il y aurait apport de 0 millimolécule 002 d'acide, soit la $1/250^e$ partie de ce que contient la solution étudiée. Cette quantité est donc négligeable.

Présentation des résultats. — A chaque récolte, nous avons fait le rapport des poids secs aux poids frais, rapport que nous avons multiplié par 100 afin d'avoir des nombres plus simples. La comparaison des quotients obtenus, et surtout la comparaison de leurs variations, est déjà suggestive. Afin de la rendre plus claire, nous avons imaginé de diviser, pour un organe et une température donnés, le premier rapport par le dernier (ce dernier étant celui obtenu au bout de quinze jours ; lorsqu'il n'y a pas de récolte ce jour-là, une interpolation légitime permet de le calculer). Nous obtenons ainsi deux quotients : l'un pour 17^o , l'autre pour 35^o .

Ces rapports offrent un inconvénient : celui de ne pas tenir compte des variations intermédiaires durant l'expérience. Mais ils offrent l'avantage de permettre une comparaison rapide et facile des mouvements de matières. A 17° et à 35°, ils peuvent, par coïncidence, avoir une même valeur numérique : mais ils correspondent, le premier à un phénomène positif, le second à un phénomène négatif. Le premier nous renseigne sur une construction cellulaire en même temps que sur l'utilisation des matériaux nécessaires à cette construction, le deuxième sur les migrations et la perte de ces matériaux.

La variation souvent considérable de ces nombres, d'une température à l'autre, montre le trouble profond apporté par la chaleur dans le mécanisme des échanges internes d'une part et, d'autre part, des échanges entre la plante et le liquide.

Quelques séries de mesures faites sur de jeunes plantules analogues à celles qui furent mises en expérience, cultivées sur Knop au 1/30^e, indiquent que les rapports des poids secs et des poids frais, dans ces conditions, ne varient guère. Ils peuvent donc servir de rapports témoins. Voici ceux obtenus dans deux des séries de pesées :

TABLEAU XI

Poids donnés en mmg.

RACINES			TIGES			COTYLÉDONS		
POIDS SECS a	POIDS FRAIS b	R = $100 \frac{a}{b}$	POIDS SECS a	POIDS FRAIS b	R = $100 \frac{a}{b}$	POIDS SECS a	POIDS FRAIS b	R = $100 \frac{a}{b}$
87	1.323	6,6	177	2.156	8,2	400	1.816	22
71	1.078	6,6	158	1.892	8,3	430	1.924	22,3

Ces rapports sont donc en moyenne de 6,6 pour les racines, 8,25 pour les tiges et 22,15 pour les cotylédons.

En divisant ces nombres par les nombres qui correspondent aux mêmes organes de la première récolte (faite 3 à 4 jours après le changement de milieu) nous obtiendrons un autre quotient qui nous renseignera sur l'influence du sel et de la température étudiés

en ce qui concerne l'hydratation. L'équilibre est sûrement établi, REDFERN (84) admet en effet que l'équilibre chez les racines de Pois est obtenu en 24 heures. Les échanges, au bout du temps considéré, quel que soit leur sens, sont suffisamment faibles pour que nous pensions que, seule, la variation de la teneur en eau des tissus est pratiquement en jeu.

Il ne nous a pas paru utile de rechercher des quotients identiques en fonction du temps, ils feraient double emploi avec les précédents.

Nous aurons donc ainsi deux séries de coefficients : la première série pourra être appelée celle des *Coefficients de température*, la seconde celle des *Taux d'hydratation*. Ces derniers ne sont établis que pour les racines et les cotylédons, seuls organes en contact direct avec le liquide.

Sels étudiés. — 9 sels ont été étudiés. Ce sont :

KCl, NH_4Cl , NaCl, NO_3K , NO_3NH_4 , SOK^2 , $\text{SO}^4 (\text{N}^4\text{H}^4)^2$, PO^4KH^2 , $\text{PO}^4\text{H}^2 (\text{NH}^4)$.

CHAPITRE III

MÉTHODES DE DOSAGE

Ce sont des méthodes uniquement volumétriques. Leur précision, étant donné les quantités à doser, est en effet plus grande. Dans chaque cas, le degré de précision sera d'ailleurs indiqué.

Azote nitrique. — On l'amène à l'état d'ammoniaque en milieu acide par hydrogénation ménagée. On dose ensuite cet ammoniaque comme il sera indiqué plus loin.

Pour le nitrate d'ammoniaque et le nitrate de potassium, un dosage préalable sur une quantité de solution connue, permet par simple différence, d'obtenir l'azote nitrique.

Dans un matras de Kjeldahl à long col, on met dans l'ordre :

20 cc. du liquide à analyser.

60 cc. d'acide phénylsulfurique (40 g. d'acide phénique neige dans 1.000 cc. d'acide sulfurique pur à 66°B).

Après repos d'une dizaine de minutes, on ajoute :

2 g. de limaille de zinc pur.

On laisse en contact à froid durant 24 heures, puis on verse :

5 cc. d'acide sulfophosphorique (125 g. d'anhydride phosphorique et de l'acide sulfurique en quantité suffisante pour faire 1.000 cc.)

3 gouttes de chlorure de platine à 10 %

10 cc. d'une solution d'oxalate de potassium à 30 %

On chauffe à feu doux en évitant, dès les premiers moments, la sortie de la mousse qui se produit. Lorsque des fumées blanches apparaissent, on recouvre l'ouverture du matras d'un petit entonnoir. Il est nécessaire d'agiter souvent jusqu'à décoloration. Cette décoloration achevée, on laisse sur le Bunsen une nuit encore, puis on éteint.

Un peu plus tard, on chauffe à nouveau et on ajoute, pour terminer la réaction, un peu de permanganate de potassium pulvé-

risé jusqu'à coloration verte ou rose persistante suivant la température.

On laisse refroidir définitivement. On verse la moitié du matras d'eau distillée, la solution obtenue est jetée dans un ballon de deux litres avec les deux eaux bouillantes de lavage. On additionne le liquide de quelques gouttes d'alizarine à 1 %, de 150 cc. de soude caustique pure à 36°B, et on distille dans l'appareil d'Aubin.

La précision, la même que pour l'ammoniaque, sera indiquée à ce dernier corps.

Acide sulfurique. — La méthode de CHATRON (8), adaptée à notre cas particulier, a été employée.

On précipite l'ion SO_4 à l'état de sulfate de benzidine, après ajustement de la réaction du milieu avec HCl dilué à un $\text{pH} = 3$. On hydrolyse le précipité qu'on a séparé et on dose alcalimétriquement l'acide sulfurique libéré.

La solution de benzidine a été faite d'après la formule de FISKE.

Benzidine	4 g.
HCl normal	50 cc.
Eau distillée, q.s.....	250 cc.

20 cc. du liquide à analyser sont évaporés lentement à sec à 80°, et repris par 5 cc. d'eau bouillante. Après refroidissement et ajustement du pH, on ajoute 8 cc. d'acétone pure à 95% et 3 cc. de la solution de benzidine précitée. On agite et on laisse reposer 10 minutes environ. Le précipité de sulfate de benzidine apparaît sous la forme de fines paillettes blanches.

On centrifuge 5 minutes à 6.000 tours et on siphonne avec précaution le liquide en excédent. On lave avec 5 cc. d'acétone, centrifuge et siphonne à nouveau. Ces opérations sont répétées cinq fois et suivies d'un dernier lavage au mélange alcool-éther en parties égales.

Le précipité enlevé par un jet d'eau bouillante, préalablement neutralisée (faiblement rose à la phtaléine) est jeté, avec les eaux de lavage, dans un Bécher contenant de l'eau à 100°. Le sulfate de benzidine s'hydrolyse rapidement et, après addition de quelques gouttes de phtaléine, on dose l'acide sulfurique libéré à l'aide d'une solution de soude $\frac{N}{50}$.

Un cc. de la base correspond à 0 millimolécule 01 d'acide.

Acide phosphorique. — La méthode de COPAUX (12), utilisée avec succès par ECHEVIN (24) et CRÉPIN (14), a été employée. Nous en rappelons les caractéristiques principales :

« Lorsqu'une solution d'acide phosphorique, additionnée d'un « acide minéral (SO^4H^2) est agitée avec de l'éther et un molybdate alcalin, il se forme de l'acide phosphomolybdique qui, s'unissant à l'éther et à l'eau, donne naissance à un complexe liquide, jaune, dense, non miscible à son eau-mère » (ECHEVIN, page 81). Il suffit, à l'aide des ampoules de Copaux, préalablement étalonnées avec soin, d'une simple lecture volumétrique.

A 5 cc. de la solution à analyser, on ajoute 10 cc. d'acide sulfurique (110 cc. de SO^4H^2 de densité 1,83 pour 1.000 cc. d'eau) et 10 cc. d'éther. On agite très vigoureusement, et on additionne le liquide à trois reprises différentes de 5 cc. d'une solution de molybdate de sodium à 126 g. par litre, en secouant à chaque affusion, plus énergiquement après la dernière. On centrifuge trois minutes à 1.000 tours et on lit le volume du complexe sur la tige graduée de l'ampoule.

Dans les ampoules employées, une division correspondait à $1/6.400^e$ d'atome de phosphore.

Chlore. — Nous avons employé la méthode de VOLHARD (18. DENIGÈS T. I p. 180). Le chlore étant précipité par un excès de nitrate d'argent, on titre cet excès par $\text{CNS}(\text{NH}^4)$, en présence d'alun de fer ammoniacal, servant d'indicateur coloré.

On prélève 20 cc. du liquide à analyser qu'on additionne de quelques gouttes d'acide azotique à 48°B, et de 5 cc. exactement mesurés de nitrate d'argent. La solution de ce nitrate doit être rigoureusement titrée et sensiblement décimale. On laisse reposer quelques instants, et on chauffe doucement pour rassembler le précipité de chlorure d'argent.

Après refroidissement, on ajoute 2 cc. d'alun de fer ammoniacal à 4 % puis on verse goutte à goutte le sulfocyanate d'ammonium titré jusqu'à coloration saumon persistante. Il est nécessaire, d'une part, de doser en même temps la série entière des liquides relatifs à une même température, et, d'autre part, d'adopter une coloration étalon.

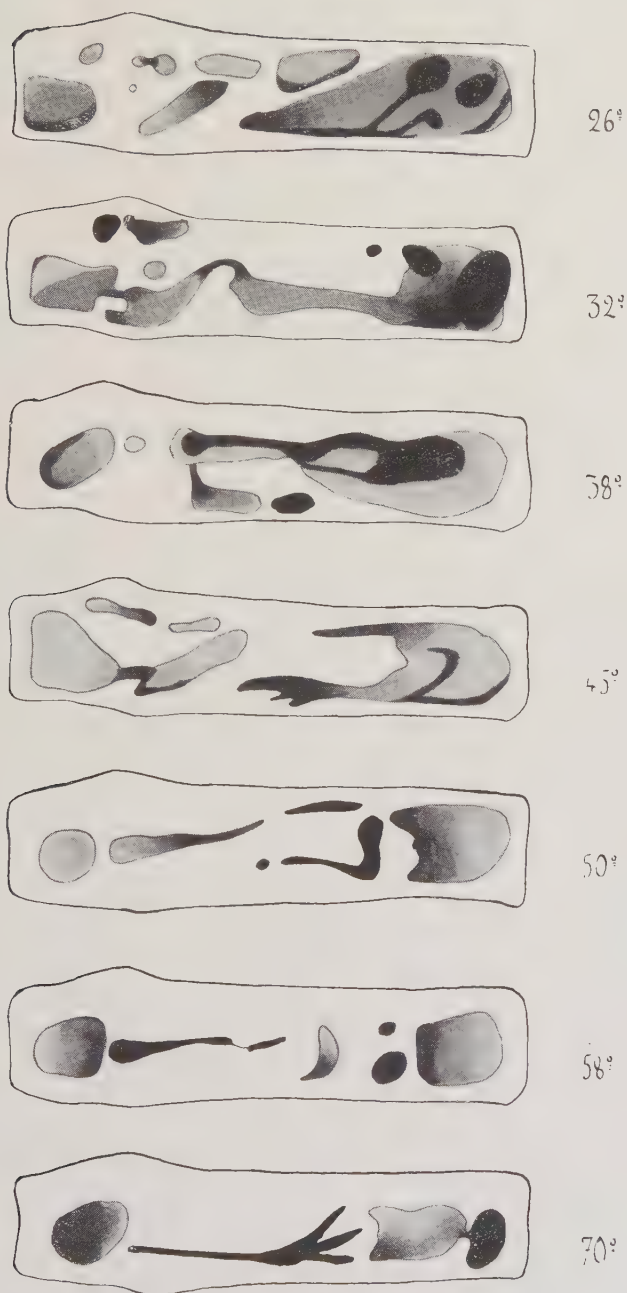


Fig. 7. — Aspect du système vacuolaire à différentes températures chez la cellule épidermique d'*Iris germanica*. Rouge neutre. Grossissement : 600.

FAMIN. Action de la température

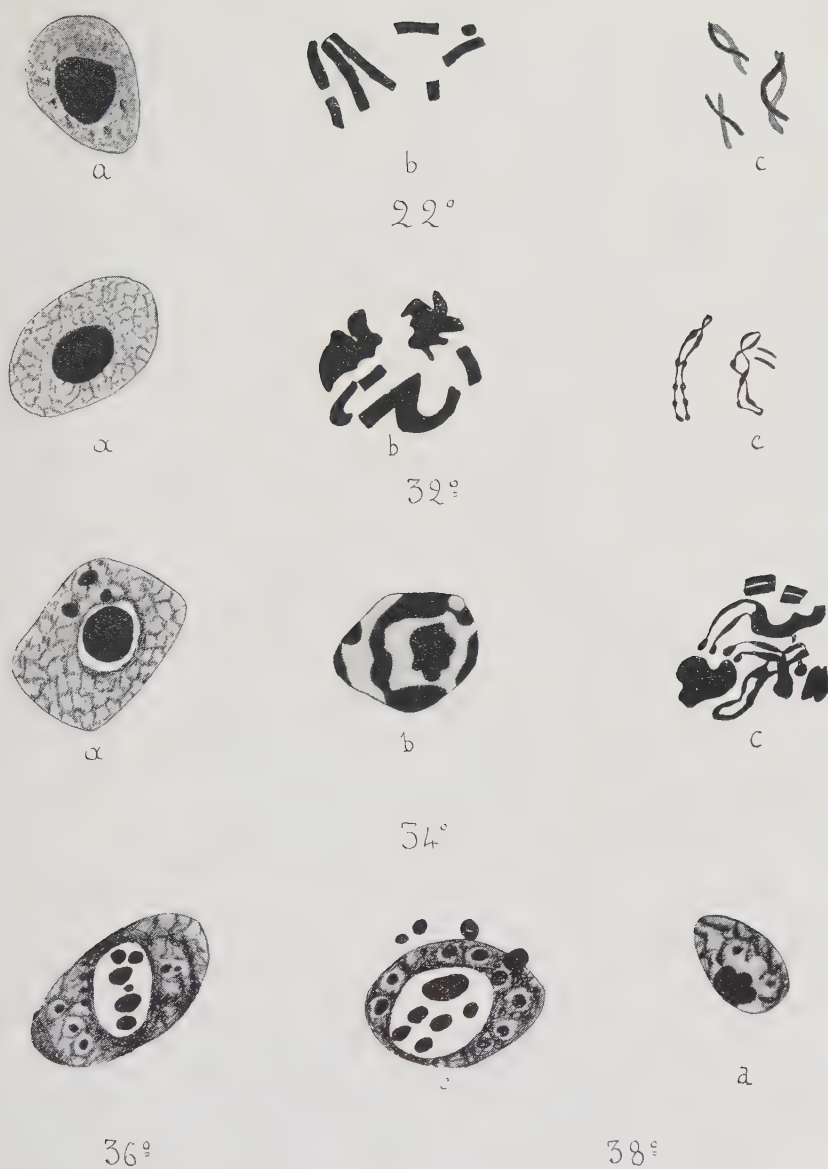


Fig. 8. — Aspect du noyau et des chromosomes pendant la germination, de 22° à 38°.

a : noyau quiescent ; b : chromosomes et masses chromatiques ; c : séparation des chromosomes ; d : pycnose à 38°.

Grossissement : 1.800.

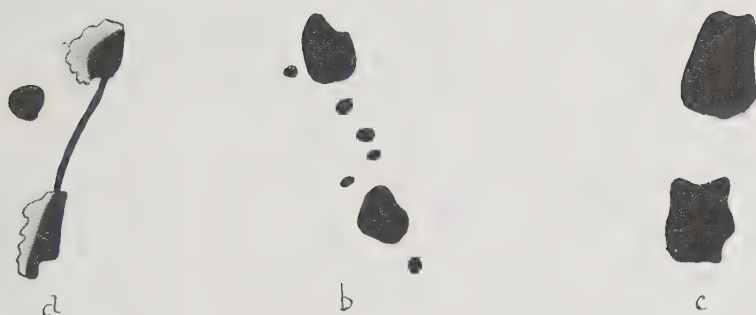


Fig. 9. — Quelques aspects de la télophase à 36°, après chauffage durant 36 heures chez *Vicia Faba*.
a : présence d'un filament chromatique entre les 2 noyaux ; b : présence dans quelques grains seulement ; c : noyaux séparés. — Grossissement : 1.200. Helly.

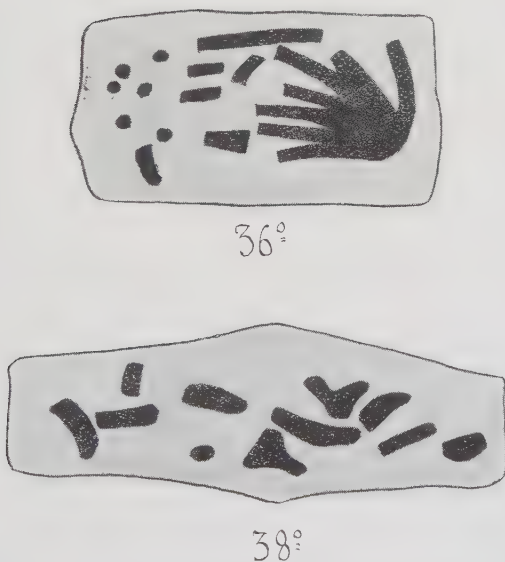


Fig. 10. — Répartition des chromosomes dans une cellule de la racine de *Vicia Faba*, à 36° et 38°, après 36 heures de chauffage. — Grossissement : 1.200. Helly.

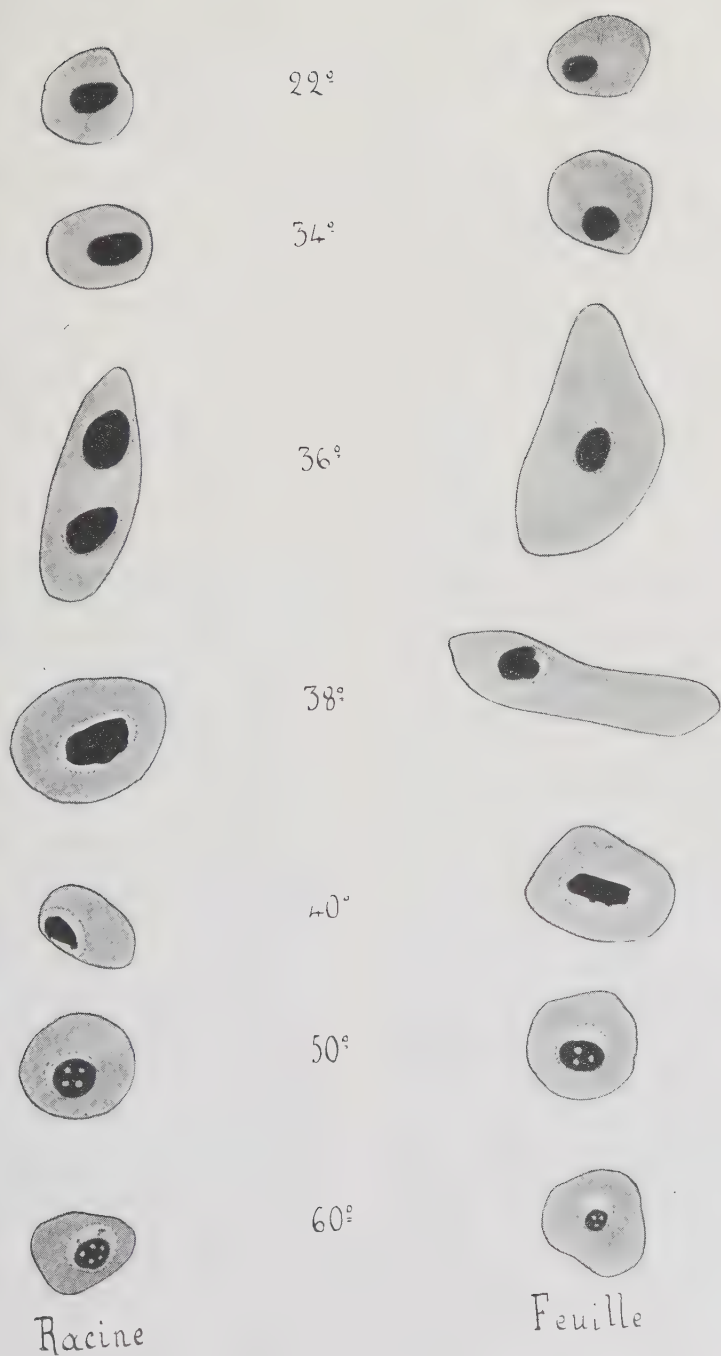


Fig. 11. — Tailles des noyaux et aspects des nucléoles dans la racine et la feuille de *Vicia Faba*, après 36 heures de chauffage aux températures indiquées. — Grossissement : 1.500. Helly et Regaud.



Fig. 13. — Plastides de la cellule d'épiderme foliaire d'*Iris germanica*, avant et après coagulation à l'ultramicroscope.
— Grossissement : 2.100.

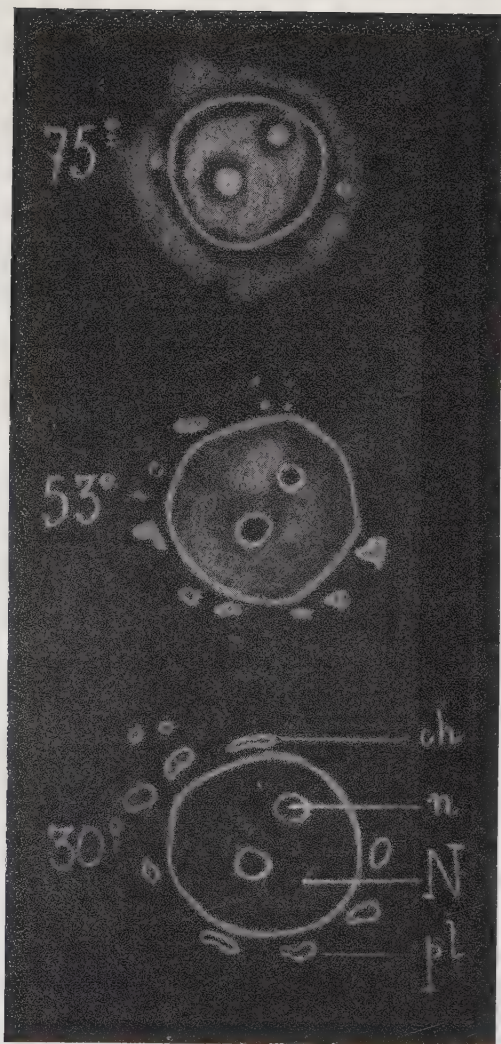


Fig. 14. — Aspect du noyau de la cellule de l'épiderme foliaire d'*Iris germanica* à différentes températures, à l'ultramicroscope. N : noyau ; ch : chondriocyste ; n : nucléole ; pl : plastide.
— Grossissement : 2.100.

Les différences à doser sont faibles et, sauf pour KCl, dans les limites de l'erreur expérimentale.

Le sulfocyanate employé étant au titre 0,0715, le nitrate d'argent à celui de 0,1, 1 cc. 4 du premier sel vaut 0 milliatome 1 de chlore.

Ammoniaque. — Il a été dosé par la méthode de SCHLOESING, dans l'appareil d'Aubin (18 DENIGES T. II, page 41, fig. 3).

La prise d'essai, généralement de 20 cc., est diluée dans 350 à 400 cc. d'eau distillée, et additionnée de 20 cc. de soude pure à 36°B. On distille dans l'appareil indiqué. Le distillat est recueilli dans de l'eau préalablement neutralisée, colorée par quelques gouttes d'une solution d'alizarine à 1 %. On y ajoute, au fur et à mesure, de l'acide sulfurique au 1/50^e normal contenu dans une burette de Gay-Lussac graduée en 1/10^e de cc., jusqu'à coloration jaune paille.

1 cc. de cet acide correspond à 0 millimolécule 02 d'ammoniaque.

Potassium. — Le procédé de LEULIER, VELLUZ et GRIFFON (61), légèrement modifié afin de convenir aux recherches faites, a été employé et nous a donné toute satisfaction.

Le principe en est le suivant :

Le potassium est précipité à l'état de cobaltinitrite de potassium, qui est convenablement lavé puis hydrolysé. L'acide nitreux libéré est oxydé par une quantité de permanganate de potassium dont on dose l'excès.

10 cc. du liquide étudié sont additionnés de 5 cc. d'une solution dans l'eau acétique à 1 %, de cobaltinitrite de sodium (3 g. pour 10 cc. d'eau). On agite et on laisse reposer une demi-heure, les tubes étant maintenus verticaux. On centrifuge durant 4 minutes à 6.000 tours, puis on siphonne lentement le liquide surnageant. On lave, centrifuge et décante trois fois avec le liquide suivant (5 cc. environ à chaque lavage) :

Alcool à 95°	30 cc.
Éther pur	30 cc.
Acide acétique glacial	10 cc.
Eau distillée	15 cc.

puis, deux fois au mélange alcool-éther en parties égales et une fois à l'éther pur. On siphonne ce dernier éther et on laisse évaporer spontanément l'excédent.

Le précipité jaune de cobaltinitrite de potassium est mis en suspension dans 20 cc. d'une solution de $\text{PO}^4\text{Na}^3\text{H}$ à 5 %, et chauffé au bain-marie bouillant durant 1/4 d'heure. Le contenu brunâtre de chaque tube est alors versé avec les eaux de lavage dans un Bécher contenant :

10 (ou 20) cc. de MnO^4K à 2 g. 5 pour 1.000 environ et 3 cc. de SO^4H^2 à 25 %

On laisse à froid en contact une demi-heure.

On ajoute 5 cc. de KI à 10 % et on dose l'iode libéré par une solution titrée de $\text{S}^2\text{O}^3\text{Na}^2$ (18 cc. de cet hyposulfite correspondent à 10 cc. de MnO^4K). On titre également le permanganate utilisé et l'hyposulfite (avec une solution titrée d'iode).

Dans ces conditions, 1 cc. d'hyposulfite de sodium employé en plus ou en moins, correspond à une différence de 0, milliatome 075 de potassium.

Sodium. — Nous avons employé la méthode de BLANCHETIÈRE (18) DENIGÈS T. II, page 127 et suiv.). Le sodium est précipité à l'état d'acétate triple d'uranyle, de magnésium et de sodium (sel de Streng). Par hydrogénation, on amène le sel d'uranyle (U^{VI}) à l'état de sel d'uranium (U^{IV}) qu'on dose par manganimétrie.

A 10 cc. du liquide étudié, on ajoute 25 cc. de la solution suivante :

Acétate d'uranyle cristallisé	32 g.
Acétate de magnésium	100 g.
Acide acétique cristallisable	20 cc.
Alcool à 90°.....	500 cc.
Eau	300 cc.

On dissout au bain-marie, on complète à 1.000 cc. par de l'eau et, si besoin est, on filtre après 48 heures.

Le précipité jaune obtenu est séparé sur filtre et lavé trois fois avec le réactif, puis trois fois à l'alcool à 90°. On sèche un quart d'heure à l'étuve à 90°. L'acétate triple est dissous dans de l'eau distillée et, à la liqueur jaune obtenue, on ajoute 10 g. de zinc pur et 5 cc. d'acide sulfurique également pur. On chauffe jusqu'à 50-60° et on laisse la réduction s'effectuer durant 30 minutes. On décante et on lave le vase. On ajoute 2 cc. d'acide sulfurique et une solution de permanganate de potassium $\frac{\text{N}}{10}$, jusqu'à virage rose persistant.

Un cc. de ce permanganate correspond à 0 milliatome 01665 de sodium.

CHAPITRE IV

ÉTUDE DES DIFFÉRENTS SELS MINÉRAUX EMPLOYÉS

I. — Chlorure de potassium.

Solution nutritive.

Chlorure de potassium : $\frac{M}{100}$	0 g. 745
Nitrate de calcium... ..	0 g. 0625
Phosphate monocalcique	0 g. 125
Sulfate de magnésium	0 g. 0625
Phosphate de fer	traces
Eau distillée.....	1.000 cc.

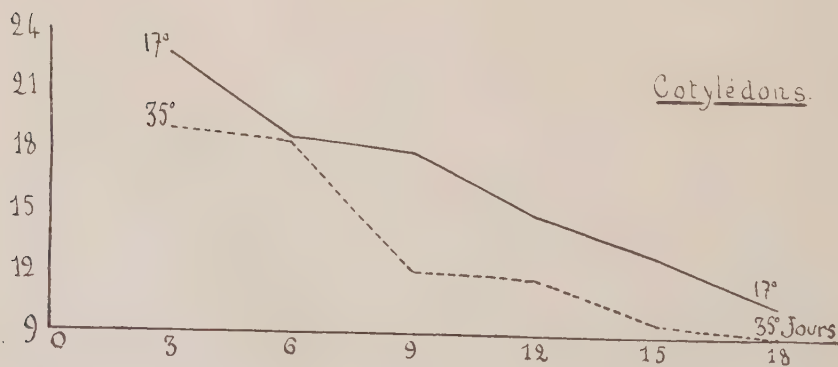
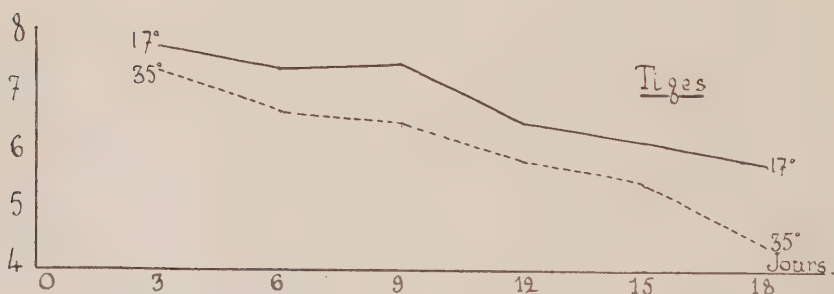
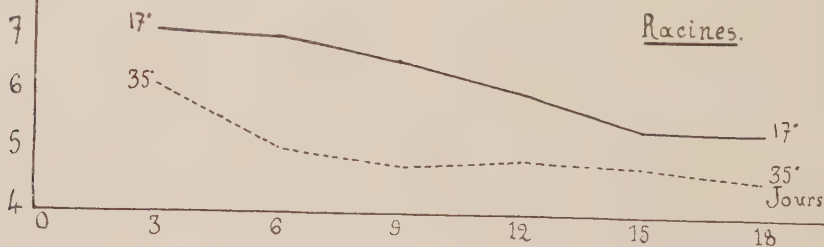
Tableau 12, graphiques 8, 9, 10.

TABLEAU XII

TEMPS EN JOURS	POIDS SECS (a)		POIDS FRAIS (b)		RAPPORTS = $100 \times \frac{a}{b}$	
	17°	35°	17°	35°	17°	35°
<i>Racines</i>						
3 j.	85	88	1222	1440	7	6,1
6	111	80	1666	1574	6,9	5,1
9	100	70	1528	1380	6,5	4,8
12	99	68	1642	1380	6	4,9
15	88	67	1622	1354	5,4	4,8
18	102	56	1897	1230	5,4	4,6
<i>Tiges</i>						
3	132	159	1725	2182	7,7	7,3
6	174	125	2368	1884	7,3	6,6
9	185	138	2506	2184	7,4	6,4
12	197	111	3096	1921	6,4	5,8
15	197	143	3212	2640	6,1	5,4
18	257	83	4475	1883	5,7	4,4
<i>Cotylédons</i>						
3	470	370	2101	1932	22,8	19,1
6	365	420	1948	2278	18,7	18,4
9	418	243	2307	2015	18	12
12	314	238	2112	2019	14,9	11,8
15	200	191	1642	1981	12,8	9,6
18	152	176	1739	1953	10,5	9

Graphiques 8, 9, 10,

Rapports = $100 \cdot \frac{\text{Poids secs}}{\text{Poids frais}}$



KCl.

Poids secs et poids frais. — A 17° comme à 35°, les rapports :

$\frac{\text{Poids secs}}{\text{Poids frais}} \times 100$, diminuent du début de l'expérience à la fin avec assez de régularité.

A la température du Laboratoire, la plante pousse activement, comme l'indique la progression des poids frais, en empruntant certains éléments au milieu et en utilisant le contenu de ses cotylédons. Les jeunes tissus se constituant rendent racines et tiges plus aqueuses, ce qui est normal.

A 35°, la chute brutale des poids secs se fait entre le premier et le sixième jour pour les racines, et, pour les graines, entre le sixième et le neuvième. Ces dernières, en quelque sorte moins vivantes que les premières, sont aussi moins sensibles à l'action de la température. Chez la tige, la chute est régulière.

Coefficients de température (3 à 15 jours).

TEMPÉRATURES	RACINES	TIGES	GRAINES
17°	1,3	1,26	1,78
35°	1,27	1,35	1,99

La comparaison de ces chiffres avec les variations des rapports précédents, montre qu'une brusque migration de matières a lieu des cotylédons vers les racines et les tiges entre le sixième et le neuvième jour. Ces substances diffusent en partie dans le milieu, mais fort lentement, insensiblement, même dans les racines dont la courbe reste presque horizontale à partir de cette période.

L'élévation de température ne paraît donc pas augmenter, comme l'ont affirmé la plupart des auteurs, régulièrement la perméabilité, du moins pour KCl.

Taux d'hydratation.

TEMPÉRATURES	RACINES	GRAINES
17°	0,94	0,97
35°	1,08	1,16

Comme il est général, la température augmente l'affinité pour l'eau des tissus, plus chez les cotylédons riches en éléments figurés que chez les racines.

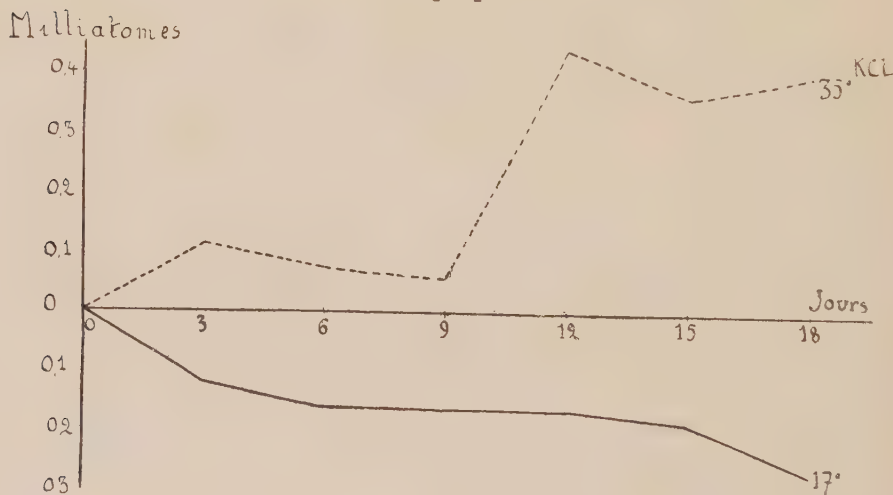
Potassium. — Tableau XIII. Graphique 11.

TABLEAU XIII

Liquueur témoin : 0 milli-atome 55.

TEMPS EN JOURS	MILLIATOMES RESTANTS		MILLIATOMES FIXÉS	
	17°	35°	17°	35°
3	0,434	0,662	— 0,116	+ 0,112
6	0,396	0,624	— 0,154	+ 0,074
9	0,392	0,617	— 0,158	+ 0,067
12	0,390	0,987	— 0,160	+ 0,437
15	0,368	0,909	— 0,182	+ 0,359
18	0,288	0,947	— 0,262	+ 0,397

Graphique 11.



— Potassium —

A 17°, l'équilibre étant établi, l'utilisation se montre extrêmement régulière, avec une vitesse légèrement supérieure vers la fin de l'expérience.

A 35°, dès le début, il y a exosmose du potassium en quantité considérable. La courbe présente une montée rapide entre le neu-

vième et le douzième jour, époque correspondant sans doute à la mort, suivie d'une légère réadsorption.

L'élévation de la température renverse donc littéralement le chimisme de la plante en ce qui concerne le potassium et l'étude des sels potassiques confirmera ce fait. Il n'y a plus d'action sélective du végétal, mais une augmentation brusque de la perméabilité au moment de sa mort.

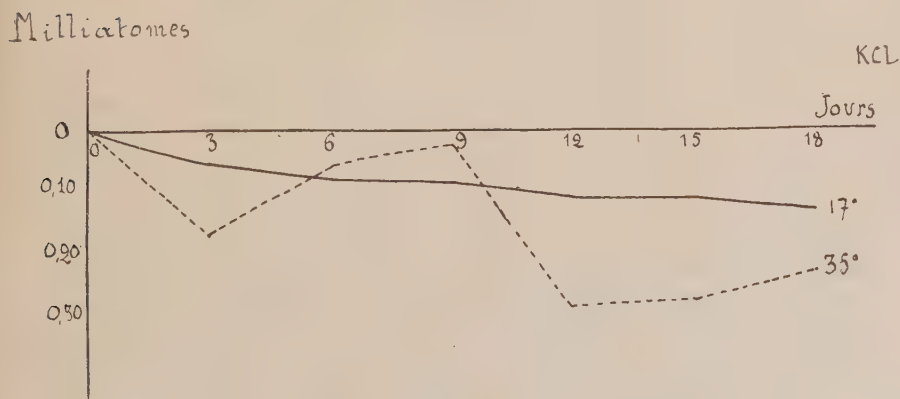
Chlore. — Tableau 14. Graphique 12.

TABLEAU XIV

Liquueur témoin : 0 milliatome 535

TEMPS EN JOURS	MILLIATOMES RESTANTS		MILLIATOMES FIXÉS		RAPPORTS $\frac{K}{Cl}$ 17°
	17°	35°	17°	35°	
3	0,481	0,360	— 0,054	— 0,175	2,15
6	0,454	0,472	— 0,081	— 0,063	1,9
9	0,445	0 507	— 0,090	— 0,028	1,76
12	0,419	0,240	— 0,116	— 0,295	1,38
15	0,419	0,250	— 0,116	— 0,285	1,57
18	0,400	0,300	— 0,135	— 0,235	1,94

Graphique 12.



— Chlore —

Il est lentement et régulièrement absorbé par le Pois à la température ordinaire.

A température élevée, il l'est également, mais d'une façon fort irrégulière ; absorbé pendant les trois premiers jours, il est relâché peu à peu, et brusquement, entre le neuvième et le douzième jour, il est fortement réadsorbé, puis rendu lentement au milieu.

Il est probable que les colloïdes protoplasmiques se modifiant lentement, adsorbent d'une part le chlore et, d'autre part, laissent exosmoser le potassium. Ce comportement rigoureusement inverse des deux ions confirme ce qu'a trouvé PETRIE (76), mais nous notons que, parmi les trois chlorures étudiés, KCl est le seul qui ait présenté ce phénomène. Il est remarquable que, à 17°, Cl et K ne sont pas absorbés avec la même rapidité, ce qui est contraire à l'affirmation de HOAGLAND (44).

Ce que nous constatons donc en même temps que l'action de la température, c'est aussi l'action d'un ion sur la manière dont les tissus végétaux agissent sur l'autre ion.

Cession de substances ammoniacales au milieu nutritif. —
Tableau 15.

TABLEAU XV

Liquueur témoin : néant.

TEMPS EN JOURS	MILLIMOLÉCULES A 35°
3	+ 0,065
6	+ 0,1576
9	+ 0,375
12	+ 0,378
15	+ 0,4

Des quantités assez considérables de produits ammoniacaux ont été également trouvées dans les milieux à 35°, avec une augmentation brusque entre le sixième et le neuvième jour. Cette augmentation coïncide avec la diminution de la substance sèche chez les cotylédons.

Comme il en est de même pour tous les sels de potassium et le chlorure de sodium, nous pensons qu'il y a là une démonstration du fait qu'une des formes circulantes des substances azotées du Pois dans l'intérieur de la plante est une forme ammoniacale.

II. — Chlorure d'ammonium.

Solution nutritive.

Chlorure d'ammonium : $\frac{M}{100}$	0 g. 535
Phosphate monopotassique.....	0 g. 0625
Phosphate monocalcique	0 g. 125
Sulfate de magnésium	0 g. 0625
Phosphate de fer	traces
Eau distillée.....	1.000 c.c.

Poids secs et poids frais. — Tableau XVI. Graphiques 13, 14, 15.

TABLEAU XVI

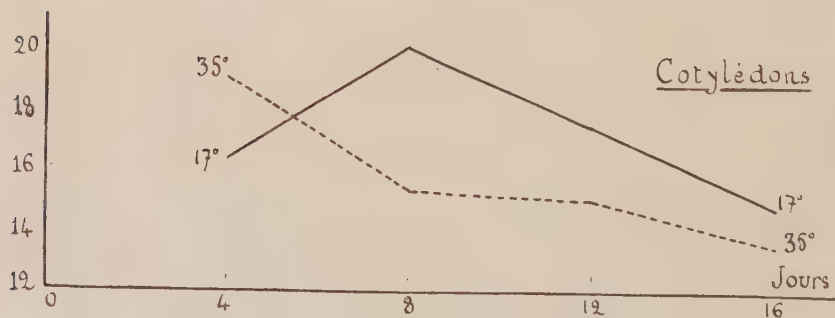
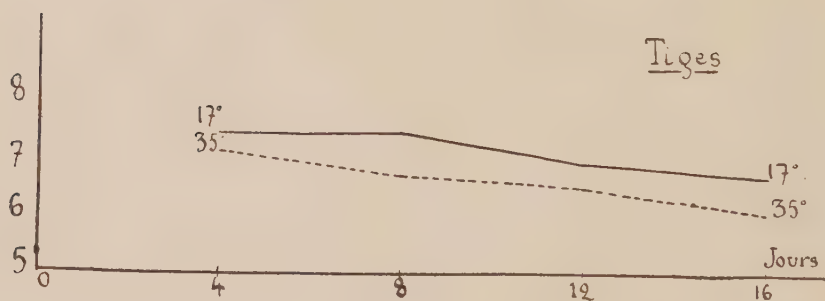
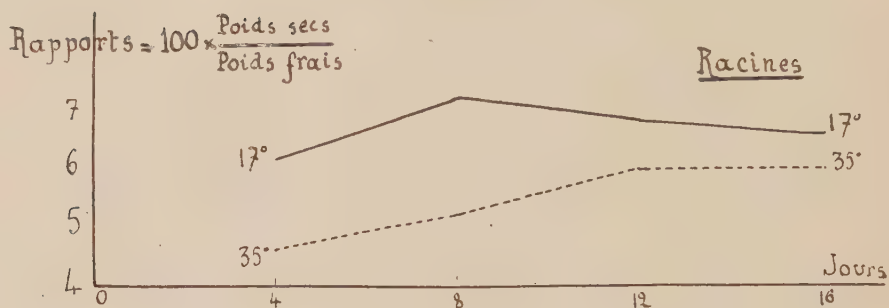
Poids donnés en mmg.

TEMPS EN JOURS	POIDS SECS (a)		POIDS FRAIS (b)		RAPPORTS : $100 \times \frac{a}{b}$	
	17°	35°	17°	35°	17°	35°
<i>Racines</i>						
4	124	60	2044	1309	6,1	4,6
8	128	67	1798	1287	7,1	5,2
12	90	96	1335	1609	6,7	5,9
16	101	79	1557	1341	6,5	5,9
<i>Tiges</i>						
4	190	160	2612	2292	7,3	7
8	174	129	2283	1961	7,3	6,6
12	197	145	2895	2277	6,8	6,4
16	223	111	3379	1844	6,6	6
<i>Cotylédons</i>						
4	320	416	1960	2141	16,3	19
8	422	298	2104	1947	20	15,3
12	360	309	2059	2056	17,4	15
16	282	277	1917	2059	14,7	13,5

La régularité relative constatée précédemment dans les variations des poids secs et frais des organes de la plante, en fonction de la température et du temps, ne se retrouve pas ici.

A 17°, chez les racines et chez les graines d'ailleurs, ces rapports passent par un maximum vers le huitième jour, comme s'il y avait un arrêt dans les phénomènes chimiques de digestion interne ou une brusque diminution de la teneur en eau. Le sel étant dans une

Graphiques 13, 14 et 15.



NH^4Cl

certaine mesure, toxique, son étude à cette température mériterait d'être reprise pour elle-même.

A 35°, à l'inverse de ce qui se produit chez tous les autres sels, il y a une augmentation des rapports pour le tissu radiculaire. Nous ne voyons actuellement aucune explication plausible de ce fait.

Dans la tige, la diminution est régulière, mais faible, et chez les cotylédons, il y a deux chutes successives séparées par un palier. Par anticipation, remarquons qu'il y a corrélation entre ces diminutions et l'augmentation en produits ammoniacaux du milieu.

Coefficients de température.

TEMPÉRATURES	RACINES	TIGES	GRAINES
17°	0,93	1,10	1,16
35°	0,78	1,11	1,37

La comparaison de ces nombres et des précédents montre qu'il y a vraisemblablement une accumulation de substances autres que les substances ammoniacales dans les racines ; ces matières proviendraient des graines. Il y a également une végétation beaucoup moins active que dans le chlorure de potassium, ce que traduisent les coefficients de température à 17°.

Taux d'hydratation.

TEMPÉRATURES	RACINES	GRAINES
17°	1,08	0,97
35°	1,42	1,17

L'action sur la racine est considérable, bien plus marquée que pour KCl. Elle est sensiblement la même, dans les deux sels, sur les graines.

Azote ammoniacal. — Tableau XVII. Graphique 16.

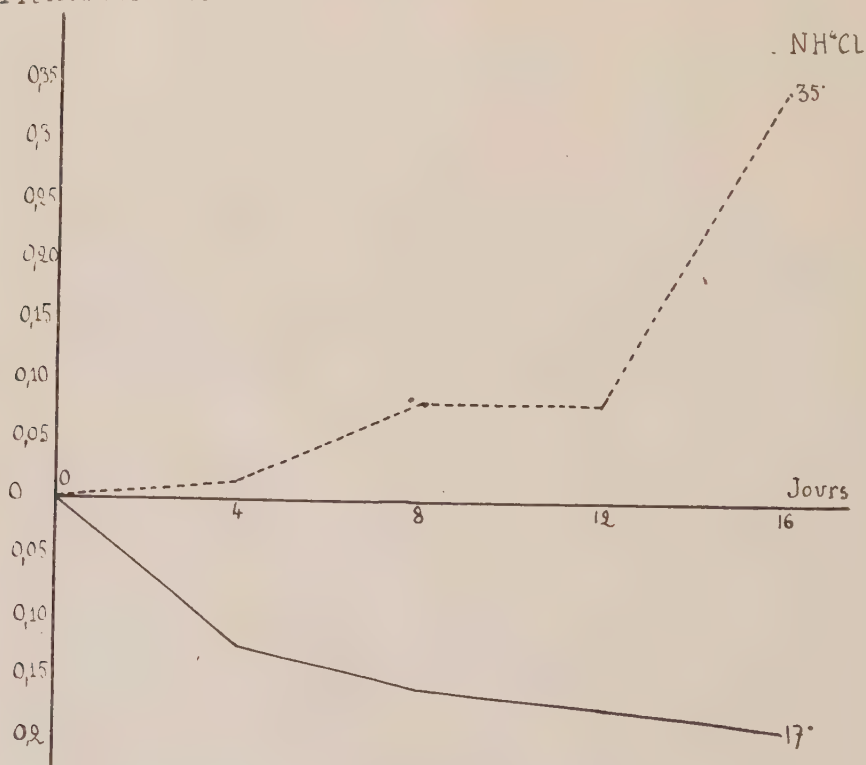
TABLEAU XVII

Liquueur témoin : 0 millimolécule 520.

TEMPS EN JOURS	MILLIMOLÉCULES RESTANTES		MILLIMOLÉCULES EN MOUVEM.	
	17°	35°	17°	35°
4	0,400	0,525	— 0,120	+ 0,015
8	0,365	0,59	— 0,155	+ 0,080
12	0,352	0,59	— 0,168	+ 0,080
16	0,335	0,85	— 0,185	+ 0,340

Graphique 16.

Millimolécules



— Azote ammoniacal —

Son absorption est régulière à 17°.

A haute température, il y a exosmose de produits ammoniacaux dans le liquide, avec deux augmentations, l'une entre le quatrième et le huitième jour (temps voisin des temps critiques pour KCl) et l'autre à partir du douzième jour.

Il est possible que la plante meure, en quelque sorte, en deux temps : le premier correspondant aux racines et aux tiges bien vivantes et plus sensibles, l'autre, aux cotylédons.

Chlore. — Tableau XVIII.

TABLEAU XVIII

Liquueur témoin : 0 milliatome 510

TEMPS EN JOURS	MILLIATOMES RESTANTS		MILLIATOMES FIXÉS	
	17°	35°	17°	35°
4	0,474	0,510	— 0,036	0
8	0,510	0,510	0	0
12	0,474	0,474	— 0,036	— 0,036
16	0,510	0,510	0	0

Les nombres indiquent que les quantités décelables sont dans les limites des erreurs expérimentales, ce qui différencie nettement NH_4Cl de KCl.

III. — Chlorure de sodium.

Solution nutritive.

Chlorure de sodium	$\frac{\text{M}}{100}$	0 g. 585
Nitrate de calcium		0 g. 125
Phosphate monopotassique		0 g. 0625
Sulfate de magnésium		0 g. 0625
Phosphate de fer		traces
Eau distillée		1.000 cc.

Poids secs et poids frais. — Tableau XIX. Graphiques 17, 18, 19.

TABLEAU XIX

Poids donnés en mmg.

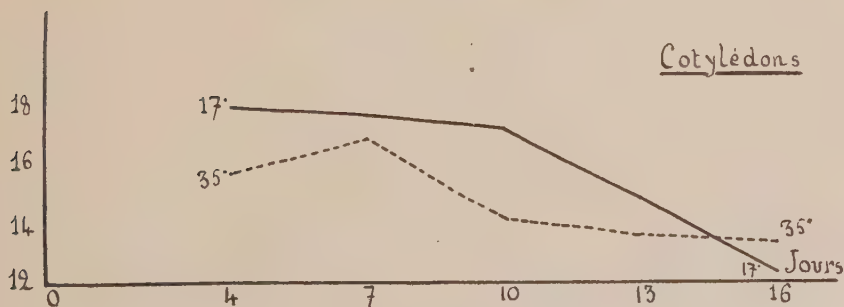
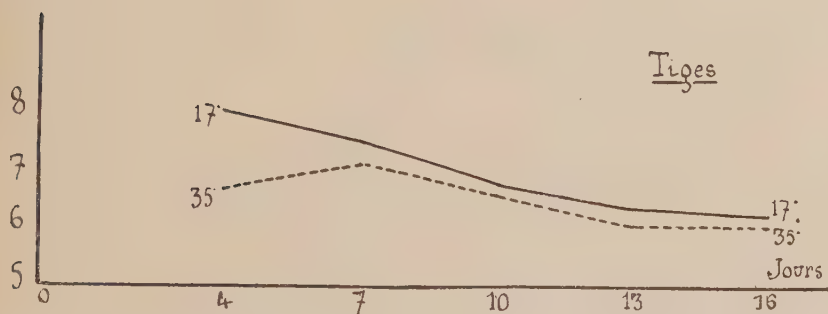
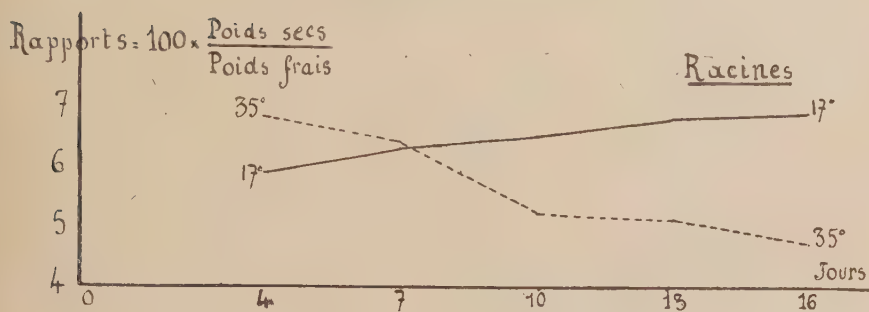
TEMPS EN JOURS	POIDS SECS (a)		POIDS FRAIS (b)		RAPPORTS : $100 \times \frac{a}{b}$	
	17°	35°	17°	35°	17°	35°
<i>Racines</i>						
4	119	120	2014	1775	5,9	6,8
7	94	111	1501	1747	6,3	6,4
10	99	84	1517	1631	6,5	5,2
13	122	94	1798	1850	6,8	5,1
16	127	69	1845	1462	6,9	4,7
<i>Tiges</i>						
4	188	155	2376	2342	7,9	6,6
7	173	164	2330	2352	7,4	7
10	165	146	2488	2250	6,7	6,5
13	263	147	4187	2486	6,3	6
16	261	109	4235	1810	6,2	6
<i>Cotylédons</i>						
4	350	317	1968	2070	17,8	15,6
7	410	357	2345	2114	17,5	16,7
10	365	281	2100	1988	17	14,1
13	302	282	2052	2079	14,7	13,5
16	240	293	1953	2213	12,3	13,3

Nous ajoutons ce sel, seul de la série sodique, aux deux autres chlorures. Son étude a été faite afin de comparer plantes supérieures et Algues thermales. Cependant, elle peut trouver place ici.

A la température ordinaire, son action sur les racines rappelle, avec un processus plus régulier, celle de NH_4Cl : augmentation des rapports des poids dans le temps. Par contre, il y a diminution chez les tiges et les graines, rapide même chez ces dernières à partir du dixième jour, ce qui coïncide d'ailleurs avec une absorption plus rapide du sodium.

A 35°, il y a diminution chez tous les organes, mais, comme toujours, cette diminution est accélérée chez les racines entre le septième et le dixième jour ; il en est de même chez les tiges et les cotylédons, où une légère augmentation, due sans doute à une perte d'eau, précède la chute brusque.

Graphiques 17, 18 et 19.



- NaCl -

Ces variations sont encore concomitantes des augmentations de substances ammoniacales du milieu.

Coefficients de température.

TEMPÉRATURES	RACINES	TIGES	GRAINES
17°	0,86	1,25	1,33
35°	1,40	1,10	1,16

Les quotients varient en sens inverse des deux autres chlorures.

Dans les racines, s'accumulent, à 17°, des produits venant des graines, tandis qu'elles perdent, à 35°, une partie de leur substance, et que les migrations internes dans la tige et la graine sont énormément ralenties. La preuve de cette affirmation peut être trouvée dans la quantité de substances ammoniacales, relativement plus faible, cédée par la plante au milieu.

Taux d'hydratation.

TEMPÉRATURES	RACINES	GRAINES
17°	1,12	1,24
35°	0,97	1,36

Loin d'augmenter la teneur en eau, l'élévation de température la diminue, sauf chez les cotylédons où elle l'élève. Son action, en présence de NaCl, est donc bien différente suivant qu'elle agit sur un tissu actif, ou sur un tissu à vie ralentie.

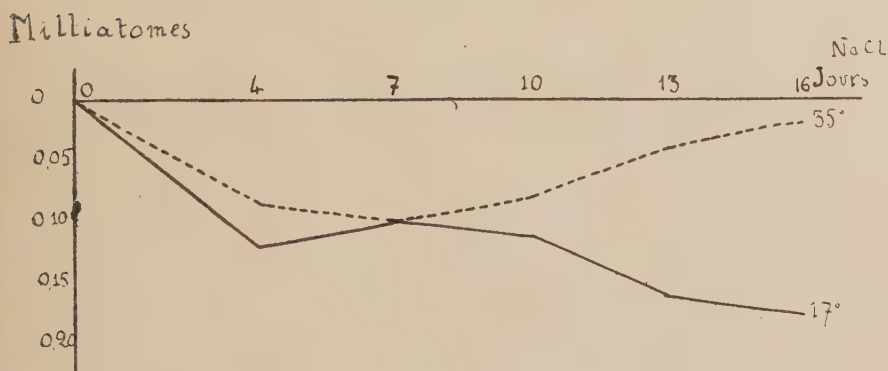
Sodium. — Tableau XX. Graphique 20.

TABLEAU XX

Liquueur témoin : 0 milliátome 525.

TEMPS EN J.	MILLIATOMES RESTANT DANS LE LIQUIDE		MILLIATOMES EN MOUVEMENT	
	17°	35°	17°	35°
4	0,405	0,440	— 0,120	— 0,085
7	0,425	0,425	— 0,100	— 0,100
10	0,411	0,445	— 0,114	— 0,080
13	0,362	0,485	— 0,163	— 0,040
16	0,345	0,535	— 0,180	+ 0,020

Graphique 20.



Sodium

Le métal est fixé à 17° avec une certaine régularité par les plantules.

Il l'est de même à 35°, tant qu'elles sont vivantes ; puis, peu à peu, il est rétrogradé au liquide ambiant, ainsi qu'une petite quantité de sodium de constitution.

Chlore. — Tableau XXI.

TABLEAU XXI

Liqueur témoin : 0 milliatome 510

TEMPS EN J.	MILLIATOMES RESTANT DANS LE LIQUIDE		MILLIATOMES EN MOUVEMENT	
	17°	35°	17°	35°
4	0,582	0,564	+ 0,072	+ 0,054
7	0,546	0,510	+ 0,036	0
10	0,546	0,564	+ 0,036	+ 0,054
13	0,582	0,546	+ 0,072	+ 0,036
16	0,510	0,510	0	0

Les variations sont aux limites de précision de la méthode de dosage. Aux deux températures, il semble cependant qu'il y ait un léger excès de chlore. Ce que nous pouvons affirmer, c'est qu'il n'est pas fixé.

Cession de substances ammoniacales au milieu nutritif. —
Tableau XXII.

TABLEAU XXII
Liquide témoin : néant.

TEMPS EN JOURS	MILLIMOLÉCULES A 35°
4	+ 0,040
7	+ 0,050
10	+ 0,094
13	+ 0,125
16	+ 0,133

A 35°, le liquide ambiant en reçoit des quantités bien moindres que chez les deux autres chlorures.

Le chlorure de sodium, quelle que soit la température, semble donc diminuer la perméabilité, relativement aux autres sels chlorurés.

IV. — Comparaison de KCl, NH_4Cl , et NaCl

La valeur du coefficient de température à 17° donne une idée assez exacte de l'influence du sel sur la végétation. Les chlorures se classent de la façon suivante :

$$\text{KCl (1,78)} > \text{NaCl (1,33)} > \text{NH}_4\text{Cl (1,16)}.$$

Ces résultats sont en concordance avec ceux que, dans une thèse récente, BLANCHARD (3) utilisant des méthodes agricoles, a fait connaître. Il rapporte cette action activante de KCl autant à l'ion Cl qu'à l'ion K. Il est de fait que c'est le seul chlorure qui montre une pénétration du chlore, et le même auteur l'a remarquée sur le Blé, le Navet, le Haricot, la Betterave (page 44). Comme il le note, la pénétration du chlore augmente la pression osmotique du milieu intérieur, et les chlorures, dit DEHÉRAIN (16 page 167) « ont une influence heureuse sur la migration des produits immédiats ».

L'élévation de température a un effet commun sur le mouvement des cations : ceux-ci passent, même après une fixation temporaire, du milieu intérieur de la plante vers le liquide ambiant.

L'ammonium traverse en plus grande quantité que le potassium, lui-même plus que le sodium.

En ce qui concerne le chlore, la nature de l'ion qui lui est associé paraît prépondérante. K permet sa fixation en quantité appréciable, quelle que soit la température. Dans les deux autres sels, contrairement à ce qu'ont trouvé PETRIE (76) et PIRSCHLE et MENGDEHL (80), il ne paraît y avoir aucune absorption.

D'une façon générale, la température augmente la teneur en eau des tissus, comme VAN RYSELBERGHE (100) l'a montré, sauf toutefois pour NaCl qui diminue la turgescence des racines.

Le chlorure d'ammonium à 35° ralentit énormément la perte de matières des plantes, tandis que KCl permet une exosmose à une vitesse sensiblement égale à celle de l'endosmose et aux migrations à 17°. NaCl présente le contraire de NH_4Cl .

Cela est lié, semble-t-il, aux variations de sens inverse qui se font chez les tiges et les graines. La poussée végétative est presque immédiatement arrêtée à cause de l'élévation de température, mais les migrations internes et les activités diastasiques ne le sont pas en même temps.

La perméabilité varie également suivant la nature du sel considéré.

Les mouvements de substances qui, normalement, se font essentiellement des cotylédons vers la tige et un peu vers les racines, ne se font plus à 35° que des cotylédons vers les racines et le milieu. La tige peut même participer à ces échanges anormaux, sauf pour NaCl qui paraît modifier et réduire la perméabilité interne.

V. — Nitrate de potassium.

Solution nutritive.

Nitrate de potassium : $\frac{M}{100}$	1 g. 01
Phosphate monocalcique	0 g. 125
Chlorure de calcium hyd.....	0 g. 0625
Sulfate de magnésium	0 g. 0625
Phosphate de fer	traces
Eau distillée.....	1.000 cc.

Poids secs et poids frais. — Tableau XXIII. Graphiques 21, 22, 23.

TABLEAU XXIII

Poids donnés en mmg.

TEMPS EN JOURS	POIDS SECS (a)		POIDS FRAIS (b)		RAPPORTS : 100 $\frac{a}{b}$	
	17°	35°	17°	35°	17°	35°
<i>Racines</i>						
3	124	96	1821	1338	6,8	7,2
6 1/2	138	94	2118	1490	6,5	6,3
9	100	57	1578	1142	6,3	5
12 1/2	125	81	2036	1670	6,1	4,8
15	110	66	1833	1363	6	4,9
18	120	66	2025	1381	5,9	4,8
<i>Tiges</i>						
3	205	153	2420	2161	8,5	7,1
6 1/2	238	145	3292	2172	7,2	6,7
9	221	106	3262	1733	6,8	6,1
12 1/2	248	151	3784	2634	6,6	5,7
15	264	118	4228	2084	6,2	5,7
18	306	114	5045	1873	6	5,6
<i>Cotylédons</i>						
3	343	323	1963	2013	17,5	16
6 1/2	306	324	1879	2152	16,3	15,1
9	330	291	2101	1968	15,7	14,8
12 1/2	258	254	1882	1987	13,7	12,8
15	237	297	1964	2403	12,1	12,4
18	262	230	2226	1940	11,8	11,9

A 17°, la végétation est active et tous les jeunes tissus formés amènent naturellement un enrichissement en eau des organes les uns (racines et tiges) par adjonction de cellules nouvelles, les autres (graines) par disparition progressive de leur contenu.

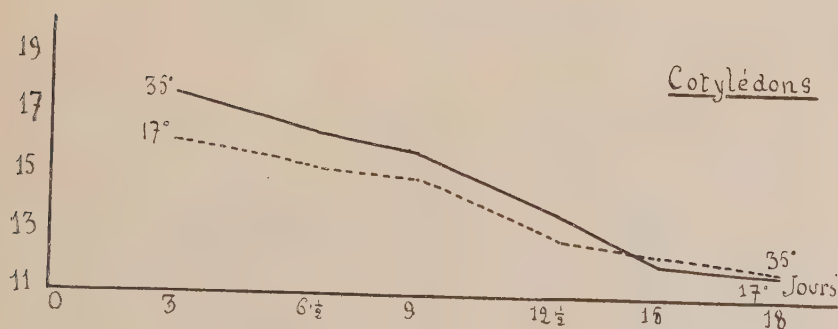
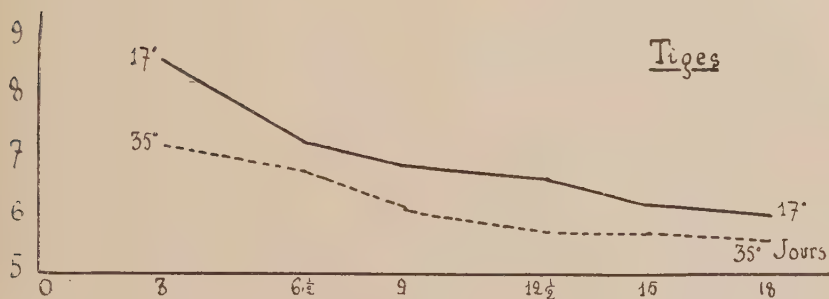
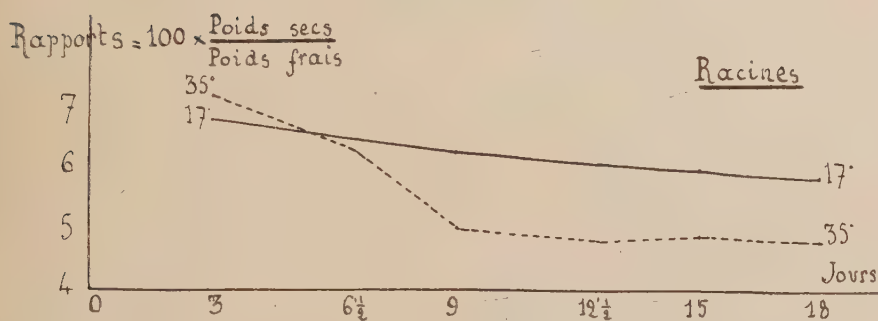
A 35°, il y a diminution relative de la substance sèche, avec chute plus rapide du sixième au neuvième jour pour les racines et les tiges, et du neuvième au douzième pour les cotylédons. Cela a déjà été remarqué pour le chlorure d'ammonium.

Coefficients de température.

TEMPÉRATURES	RACINES	TIGES	GRAINES
17°	1,13	1,37	1,45
35°	1,46	1,25	1,28

La valeur de ces quotients et leur comparaison permettent

Graphiques 21, 22 et 23.



- NO³K -

de rapprocher NO_3K de NaCl . Les remarques faites à propos de ce dernier corps s'appliquent donc au nitrate étudié.

Taux d'hydratation.

TEMPÉRATURES	RACINES	GRAINES
17°	0,97	1,27
35°	0,92	1,37

La similitude avec le chlorure de sodium se retrouve également ici.

Il ne faut donc pas considérer les ions en eux-mêmes, mais tenir compte également de leur association. Des groupements n'ayant apparemment aucun caractère commun, peuvent, dans les mêmes conditions, déterminer les mêmes actions.

Potassium. — Tableau XXIV. Graphique 24.

TABLEAU XXIV

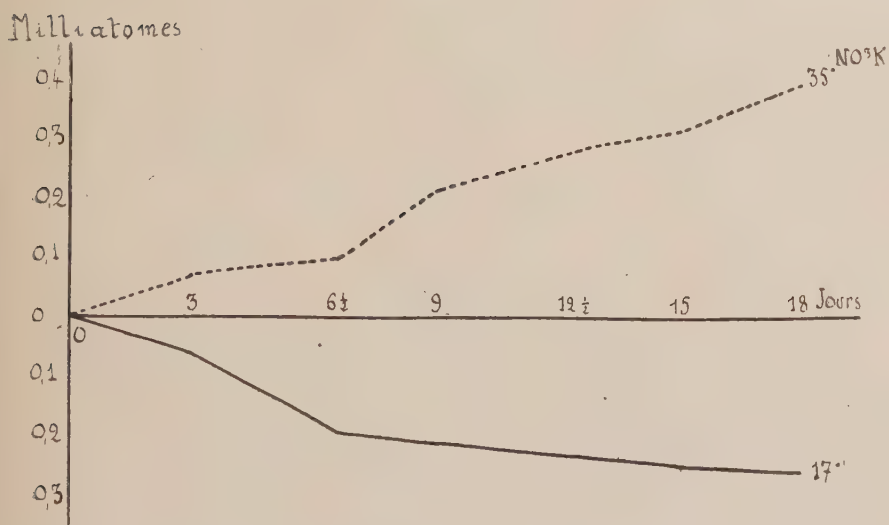
Liquueur témoin : 0 milliatome 580.

TEMPS EN JOURS	MILLIATOMES RESTANT DANS LE LIQUIDE		MILLIATOMES EN MOUVEMENT	
	17°	35°	17°	35°
3	0,517	0,645	— 0,063	+ 0,065
6 1/2	0,387	0,676	— 0,193	+ 0,096
9	0,368	0,786	— 0,212	+ 0,206
12 1/2	0,347	0,857	— 0,233	+ 0,277
15	0,326	0,885	— 0,254	+ 0,305
18	0,320	0,960	— 0,260	+ 0,380

Fixé régulièrement à la température normale, il est cédé au milieu à 35° avec un accroissement notable entre le sixième et le neuvième jour, époque de la mort des racines et des tiges. Ces derniers organes perdent brusquement leur potassium et les cotylédons le perdent lentement, tandis que pour KCl , le phénomène est différent dans le temps et se passe à partir du neuvième jour. A cette différence près, il y a identité quant aux résultats, et même quant aux quantités mises en mouvement.

Azote nitrique. — Tableau XXV. Graphique 25.

Graphique 24.



— Potassium —

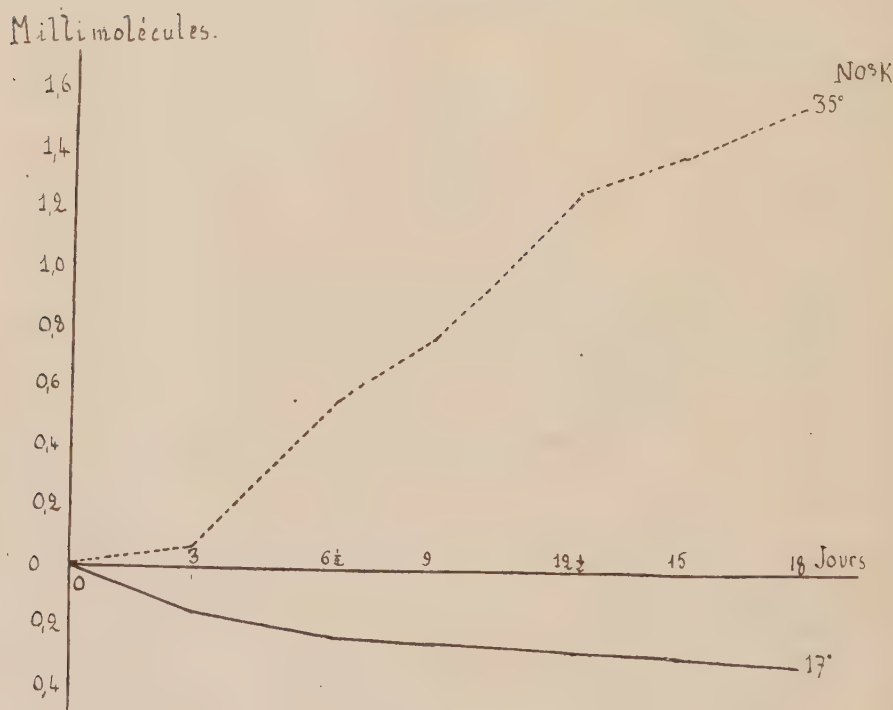
TABLEAU XXV

Liquueur témoin : 0 millimolécule 570

TEMPS EN JOURS	MILLIMOLÉCULES RESTANT DANS LE LI- QUIDE		MILLIMOLÉCULES EN MOUVEMENT		RAPPORTS $\frac{K}{NO^4}$	
	17°	35°	17°	35°	17°	35°
3	0,420	0,630	— 0,150	+ 0,060	0,42	1,1
6 1/2	0,320	1,115	— 0,230	+ 0,545	0,84	0,18
9	0,325	1,340	— 0,245	+ 0,770	0,87	0,27
12 1/2	0,295	1,810	— 0,275	+ 1,250	0,85	0,21
15	0,275	1,940	— 0,295	+ 1,370	0,85	0,22
18	0,255	2,100	— 0,315	+ 1,530	0,83	0,25

N.-B. — Ces nombres sont naturellement corrigés des quantités d'azote ammoniacal trouvé dans le milieu, à 35°, et rapportées plus loin.

Graphique 25.



— Azote nitrique —

Utilisé lentement à 17° et avec moins de rapidité que le potassium, il apparaît à 35° dès le troisième jour dans le milieu nutritif. Les quantités vont en croissant avec la plus grande régularité pour devenir considérables à la fin de l'expérience. Il est remarquable qu'il n'y a aucune coïncidence entre cette courbe et les courbes de poids. La mort ne paraît amener aucune perturbation dans cette exosmose.

Cession de substances ammoniacales au milieu nutritif. — Tableau XXVI

TABLEAU XXVI

Liquueur témoin : néant.

TEMPS EN JOURS	MILLIMOLÉCULES A 35°
3	0,055
10	0,16
15	0,22

Nous en avons, comme toujours, trouvé une certaine quantité, mais, si cette quantité est plus grande que chez le chlorure de sodium, elle est moindre que chez les autres sels.

La suite de cette étude nous amènera à penser qu'il y a un certain antagonisme entre les ions NO^3 et NH^4 , la présence de l'un amenant un certain ralentissement dans l'apparition de l'autre

VI. — Nitrate d'ammonium.

Solution nutritive.

Nitrate d'ammonium $\frac{M}{100}$	0 g. 800
Phosphate monocalcique	0 g. 125
Chlorure de potassium.....	0 g. 0625
Sulfate de magnésium	0 g. 0625
Phosphate de fer	traces
Eau distillée	1.000 cc.

Poids secs et poids frais. — Tableau XXVII. Graphiques 26, 27, 28.

TABLEAU XXVII

Poids donnés en mmg.

TEMPS EN JOURS	POIDS SECS (a)		POIDS FRAIS (b)		RAPPORTS : $100 \times \frac{a}{b}$	
	17°	35°	17°	35°	17°	35°
<i>Racines</i>						
3	93	82	1601	1138	5,9	7,2
6	80	78	1488	1445	5,4	5,4
9	100	73	1552	1464	6,4	5
12	110	63	1630	1312	6,75	4,8
15	107	61	1646	1281	6,5	4,8
18	99	77	1650	1649	6	4,7
<i>Tiges</i>						
3	212	163	2977	2315	7,1	7
6	191	157	2953	2398	6,5	6,5
9	212	120	3242	1902	6,5	6,3
12	177	110	2826	1760	6,3	6,25
15	215	100	3677	1600	5,9	6,2
18	218	122	3896	2226	5,6	5,5
<i>Cotylédons</i>						
3	345	394	2030	1959	17	20
6	361	369	1934	2143	18,7	17,2
9	275	265	1869	1880	14,7	14
12	337	247	2358	1900	14,3	13
15	234	232	1881	1902	12,4	12,2
18	185	247	1932	2098	9,6	11,8

A 17°, il y a une très grande similitude dans les rapports de poids entre ce sel et le chlorure d'ammonium. Ce que nous avons dit pour ce dernier s'applique donc au nitrate, à cette différence près que celui-ci favorise la végétation par rapport à l'autre sel.

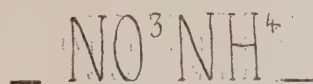
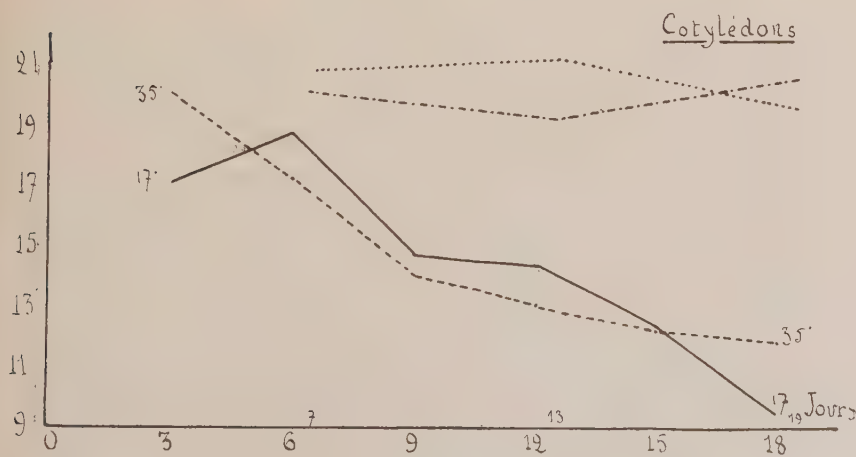
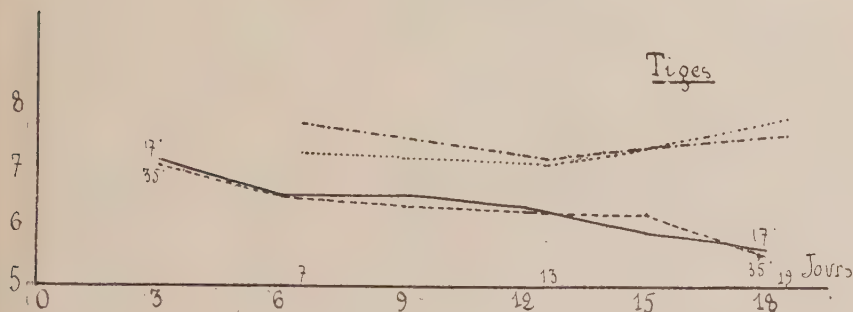
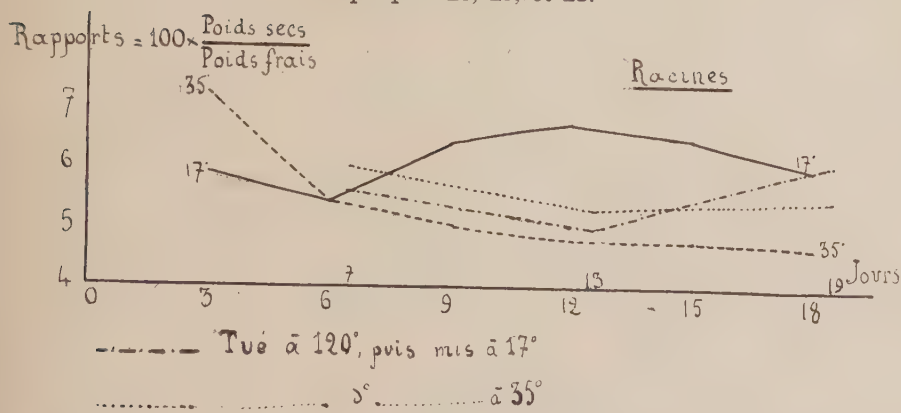
A 35°, par contre, les variations rappellent celles observées pour KCl.

Coefficients de température.

TEMPÉRATURES	RACINES	TIGES	GRAINES
17°	0,91	1,2	1,37
35°	1,5	1,13	1,65

L'action est complexe : identique à celle de NO_3K pour les racines et les tiges, elle en est très différente et même opposée pour les graines.

Graphiques 26, 27, et 28.



Taux d'hydratation.

TEMPÉRATURES	RACINES	GRAINES
17°	1,12	1,3
35°	0,92	1,1

L'examen de ces coefficients confirme la précédente observation.

Nous attribuons ces différences entre les deux nitrates à l'antagonisme des ions NO^3 et NH^4 , antagonisme que l'étude des échanges chimiques mettra encore mieux en évidence.

Azote ammoniacal. — Tableau XXVIII. Graphique 29.

TABLEAU XXVIII

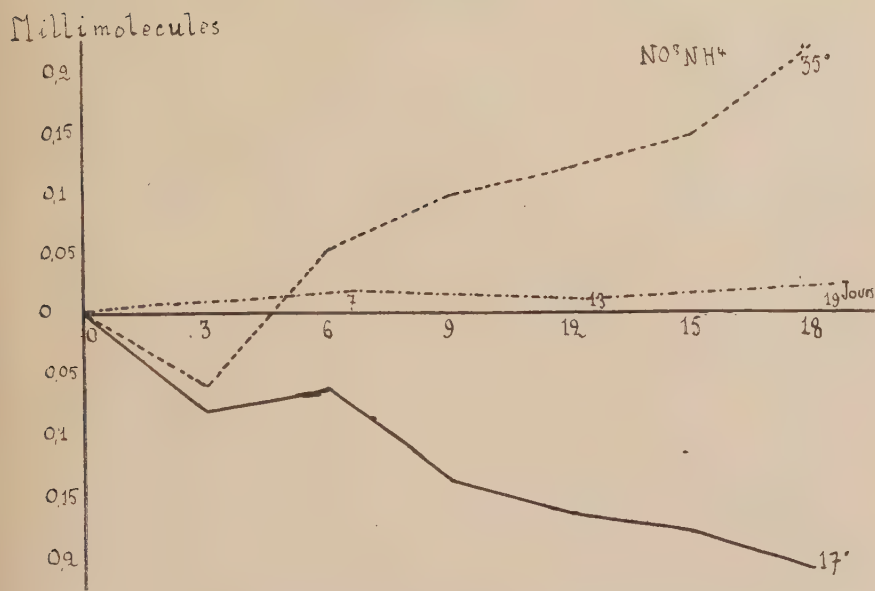
Liqueur témoin : 0 millimolécule 528.

TEMPS EN JOURS	MILLIMOLÉCULES RESTANT DANS LE LIQUIDE		MILLIMOLÉCULES EN MOUVEMENT	
	17°	35°	17°	35°
3	0,445	0,470	— 0,083	— 0,058
6	0,465	0,580	— 0,063	+ 0,052
9	0,385	0,625	— 0,143	+ 0,097
12	0,360	0,650	— 0,168	+ 0,122
15	0,345	0,675	— 0,183	+ 0,147
18	0,315	0,750	— 0,213	+ 0,222

A la température ordinaire, comme à 35°, il y a une fixation légère de l'ammoniaque du sel. L'équilibre, semble-t-il, s'établit assez difficilement comme le montrent les poids des racines et des graines. La même remarque doit être faite pour l'ion NO^3 . L'équilibre enfin établi, il y a pénétration régulière.

A haute température, après un premier temps de fixation, il y a cession de substances ammoniacales au liquide. Cette cession, active du troisième au sixième jour, diminue ensuite pour remonter du quinzième au dix-huitième jour. Si nous en comparons la courbe à celle des rapports de poids, son changement de pente correspond à la chute des rapports pour les trois organes, son ralentissement, à la diminution des racines et des tiges, tandis que les cotylédons continuent de perdre de la matière, et enfin le relèvement final des quantités d'ammoniaque est concomitant d'une nouvelle diminution chez les racines et les tiges. Les sels ammoniacaux se trouveraient donc, dans ces deux derniers organes surtout, tandis que les graines contiendraient plus de nitrates.

Graphique 29.



----- Tué à 120°, puis mis à 17°
 (Courbe identique à celle de 35°)

— Azote ammoniacal —

Azote nitrique. — Tableau XXIX. Graphique 30.

TABLEAU XXIX

Liqueur témoin : 0 millimolécule 528

TEMPS EN JOURS	MILLIMOLÉCULES RES- TANT DANS LE LIQUIDE		MILLIMOLÉCULES EN MOUVEMENT		RAPPORTS $\frac{\text{NH}^4}{\text{NO}^3}$	
	17°	35°	17°	35°	17°	35°
3	0,480	0,472	— 0,048	— 0,056	1,75	1
6	0,515	0,725	— 0,013	+ 0,197	4,85	0,26
9	0,390	1,250	— 0,138	+ 0,722	1,04	0,13
12	0,417	1,100	— 0,111	+ 0,572	1,51	0,21
15	0,380	0,981	— 0,148	+ 0,403	1,24	0,37
18	0,365	0,880	— 0,163	+ 0,352	1,30	0,63

Ces quantités, quoique considérables, ne sont cependant que la moitié de celles trouvées pour NO^3K , tandis qu'au contraire, la teneur en azote ammoniacal est, à peu de chose près, la même.

Donc, la présence de l'ion NH^4 limite la formation ou tout au moins la sortie de l'ion NO^3 , tandis que cet ion a une action tout à fait identique sur l'ion NH^4 .

Si l'on en juge par la diminution rapide de la substance sèche des cotylédons jusqu'au neuvième jour, on est tenté d'attribuer aux graines la sortie des nitrates, comme nous l'avons déjà signalé.

EXPÉRIENCES DE CONTROLE. — Il a été effectué, avec le milieu au nitrate d'ammonium, une série d'expériences ayant pour but de chercher à déterminer la part qui pouvait revenir aux actions diastasiques.

Des tubes à culture avec plantules ont été préparés exactement comme les précédents, mais nous les avons ensuite soumis à l'autoclave à 120° , durant quelques minutes, afin d'assurer la mort en même temps que la stérilisation.

Les mêmes opérations que dans le cas normal ont été faites ensuite.

Résultats. — Tableaux XXX et XXXI. Graphiques 26, 27, 28, 29 et 30.

TABLEAU XXX

Poids en mmg.

TEMPS	POIDS SECS (a)		POIDS FRAIS (b)		RAPPORTS : 100 × $\frac{a}{b}$	
Racines						
APRÈS STÉR.	57		1029		5,5	
	17°	35°	17°	35°	17°	35°
7 jours	73	59	1315	969	5,6	6
13	67	55	1347	1030	5	5,3
19	69	76	1130	1377	6,1	5,5
Tiges						
APRÈS STÉR.	77		1060		7,3	
	17°	35°	17°	35°	17°	35°
7 jours	88	90	1147	1250	7,7	7,2
13	102	56	1444	800	7,1	7
19	80	106	1067	1367	7,5	7,8
Cotylédons						
APRÈS STÉR.	446		2022		22,1	
	17°	35°	17°	35°	17°	35°
7 j.	374	426	1864	2060	20	20,7
13	412	418	2149	1976	19,2	21,2
19	416	367	2024	1874	20,6	19,6

La comparaison des rapports des poids montre qu'ils se tiennent toujours au-dessus de ceux caractérisant 17° et 35°.

Les racines continuent donc, à 35°, de perdre de la matière ; elles s'épuisent, à temps égal, plus que par une mort brutale. Il semble qu'elles ne perdent plus rien après leur mort, mais qu'elles peuvent même fixer de l'ammoniaque. Il en est de même pour les tiges. Les graines continuent à céder des substances dont l'inventaire n'a été fait qu'en ce qui concerne l'azote ammoniacal et l'azote nitrique.

Les dosages faits immédiatement à la sortie de l'autoclave, après refroidissement, ont montré qu'il y avait une brusque exosmose des deux sortes d'azotes, le second l'emportant sur le

TABLEAU XXXI

Azote ammoniacal.

Liquueur témoin : 0 millimolécule 528.

TEMPS	MILLIMOLÉCULES RESTANT DANS LE LIQUIDE		MILLIMOLÉCULES EN MOUVEMENT	
APRÈS STÉRIL.	0,675		+ 0,147	
	17°	35°	17°	35°
7 j.	0,718	0,718	+ 0,190	+ 0,190
13	0,688	0,653	+ 0,160	+ 0,125
19	0,763	0,763	+ 0,235	+ 0,235

Azote nitrique.
Liquueur témoin : 0 millimolécule 528.

TEMPS	MILLIMOLÉCULES RESTANT DANS LE LIQUIDE		MILLIMOLÉCULES EN MOUVEMENT	
APRÈS STÉRIL.	0,688		+ 0,160	
	17°	35°	17°	35°
7 j.	1,058	1,048	+ 0,530	+ 0,520
13	1,188	1,238	+ 0,660	+ 0,710
19	1,288	1,388	+ 0,760	+ 0,860

premier. Cet exode continue lentement au fur et à mesure que le temps passe, rapide pour l'azote nitrique jusqu'au 7^e jour, plus lent ensuite et plus lent encore pour l'azote ammoniacal. L'élévation de température favorise cette émission de nitrates et n'a aucune action sur celle des produits ammoniacaux (Tableau XXXI).

Les quantités obtenues pour l'azote nitrique ont été sensiblement de même ordre que celles dosées à 35° au bout du neuvième jour, avec le même milieu, mais il n'y a jamais eu réadsorption. Cette dernière action n'est donc pas le fait d'un tissu tué par la grande élévation de température.

Nous pensons que les modifications apportées par les facteurs de coagulation (chaleur lente et chaleur brutale) ne sont pas de même ordre dans les deux cas. Les coagulum protoplasmiques,

sûrement très différents, ont naturellement des propriétés elles-mêmes différentes. Nous rappelons à ce propos quelques-uns des résultats obtenus par l'action de la température sur la cellule : c'est vers 35° en effet que les modifications physico-chimiques sur les lipoides, la teneur en eau et la viscosité du cytoplasme paraissent amener un équilibre nouveau, quoique instable, dans cette cellule. D'autre part, la permanence des 35° ambiants aidant, il se pourrait — nous sommes fortement enclin à le penser — qu'il y ait, au moins, perte d'albumines de la plante dans le milieu voisin, comme le pense DEVAUX (20).

Au moment de la mort, la perméabilité de la cellule semble devenir totale, et il y a ensuite, pour certains éléments seulement, lente fixation ultérieure par les tissus végétaux.

Comment se fait-il toutefois que, dans le cas du nitrate de potasse, il y ait une quantité plus considérable d'azote nitrique, tandis que, pour le chlorure d'ammonium et le chlorure de potassium, il y a plus d'azote ammoniacal ? Nous voyons là une action diastasique, influencée par la nature des ions extérieurs. La présence de l'ion NO^3 , avec un cation autre que NH^4 , polariserait cette action dans le sens de la formation de nitrates surtout, qui deviendraient la forme de circulation des substances provenant des albuminoïdes de la graine. La présence de l'ion NH^4 , avec un cation autre que NO^3 , l'orienterait au contraire vers la formation de produits ammoniacaux.

La température de 36° n'est, en effet, pas suffisante pour arrêter rapidement l'action des diastases. Cet arrêt n'ayant lieu que vers le dixième jour, expliquerait la diminution progressive du taux des nitrates dans le milieu.

VII. — Comparaison des deux nitrates

Elle a été en grande partie faite au cours de la discussion des résultats.

Le fait essentiel est, pour le nitrate de potassium, la présence à 35° d'une quantité considérable d'azote nitrique, tandis que, pour le nitrate d'ammonium, il est dans une sorte d'équilibre qui

s'établit entre la plante riche en matières albuminoïdes et son milieu, où l'ion NO^3 et l'ion NH^4 ont des actions opposées, se constatant dans tous les domaines.

Cette opposition s'étend même à l'utilisation de l'ion NO^3 par la plante : la quantité fixée est, en effet, bien inférieure (sensiblement la moitié au bout de 15 jours) pour le nitrate d'ammonium, par rapport au nitrate de potassium.

A peu de chose près, les autres remarques faites à propos des chlorures et de l'action de la température s'appliquent ici, avec naturellement quelques variantes dues à la nature différente des sels.

VIII. — Sulfate de potassium.

Solution nutritive.

Sulfate de potassium $\frac{\text{M}}{100}$	0 g. 870
Phosphate monocalcique	0 g. 125
Nitrate de calcium hyd.	0 g. 0625
Carbonate de magnésium	0 g. 0625
Phosphate de fer	traces
Eau distillée.....	1.000 cc.

Poids secs et poids frais. — Tableau XXXII. Graphique 31, 32, 33.

TABLEAU XXXII

Poids en mmg.

TEMPS EN JOURS	POIDS SECS (a)		POIDS FRAIS (b)		RAPPORTS : $100 \times \frac{a}{b}$	
<i>Racines</i>						
	17°	35°	17°	35°	17°	35°
3	97	102	1547	1375	6,3	7,4
6	114	74	1674	1143	6,8	6,5
9	114	67	1633	1215	7	5,5
12	111	56	1586	1046	6,9	5,4
15	107	59	1638	1307	6,5	4,5
<i>Tiges</i>						
3	149	132	2245	1851	6,6	7,1
6	202	152	2904	2157	7	7
9	240	131	3352	1898	7,2	6,9
12	209	119	3357	1880	6,2	6,3
15	259	69	4300	1553	6	4,4
<i>Cotylédons</i>						
3	372	348	1902	1812	19,5	19,2
6	265	379	1768	2089	15	18,1
9	286	328	2095	1971	14,6	16,6
12	262	284	1854	1933	14,2	14,7
15	268	284	1929	1972	13,9	14,4

A 17°, dans les racines et les tiges, la variation des rapports de poids est du même ordre que celle observée pour NH_4Cl et NO_3NH_4 .

A 35°, il y a diminution des rapports dans les trois organes. Rapide du troisième au neuvième jour chez les racines, elle le devient chez les tiges du neuvième au quinzième et elle l'est surtout à partir du douzième. Chez les cotylédons, elle est régulière, tout en se réduisant un peu du douzième au quinzième jour.

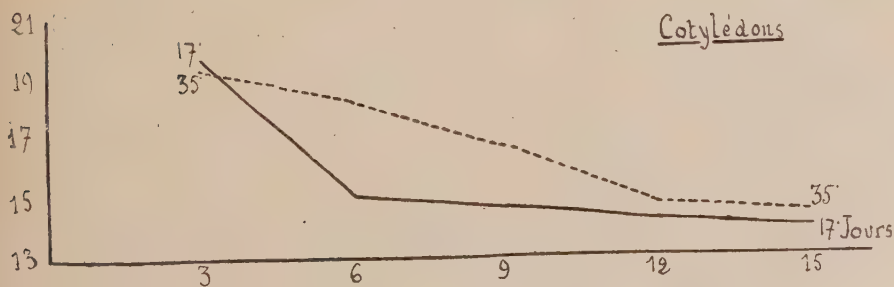
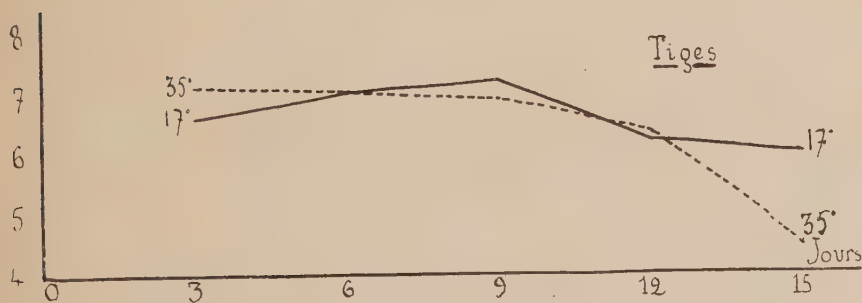
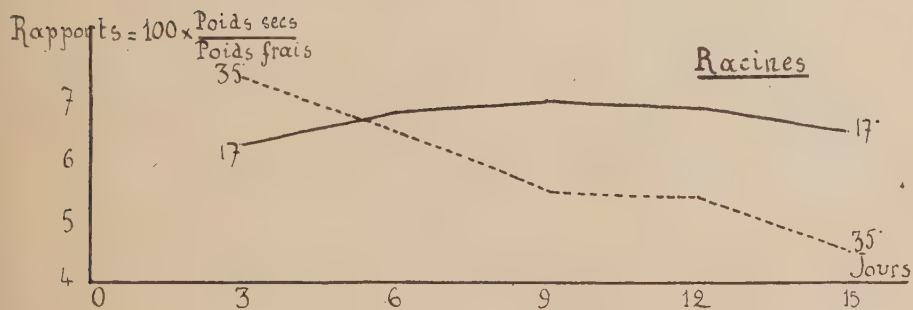
Coefficients de température.

TEMPÉRATURES	RACINES	TIGES	GRAINES
17°	0,97	1,1	1,4
35°	1,64	1,61	1,33

Taux d'hydratation.

TEMPÉRATURES	RACINES	GRAINES
17°	1,05	1,14
35°	0,89	1,33

Graphiques 31, 32 et 33.



— $SO^4 K^2$ —

Il y a une certaine similitude entre ce sulfate et le nitrate de potassium, sauf chez les tiges qui perdent de la matière à partir du douzième jour.

L'allure des phénomènes étant la même chez les deux sulfates étudiés, il faudrait donc la rapporter à la présence de l'ion SO_4 , facilitant après la mort, et sans doute aussi avant, les migrations internes.

Potassium. — Tableau XXXIII. Graphique 34.

TABLEAU XXXIII

Liqueur témoin : 0 milliátome 532.

TEMPS EN JOURS	MILLIATOMES RESTANT DANS LE LIQUIDE		MILLIATOMES EN MOUVEMENT	
	17°	35°	17°	35°
3	0,350	0,402	— 0,182	— 0,130
6	0,236	0,557	— 0,296	+ 0,023
9	0,152	0,634	— 0,380	+ 0,102
12	0,122	0,787	— 0,410	+ 0,255
15	0,098	0,792	— 0,434	+ 0,260

Acide sulfurique. — Tableau XXXIV. Graphique 35.

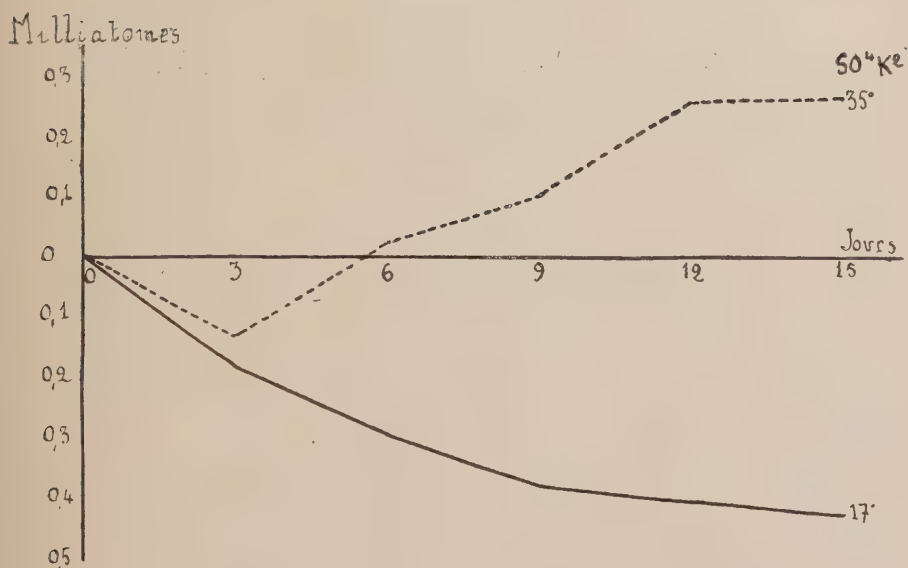
TABLEAU XXXIV

Liqueur témoin : 0 millimoléc. 270.

TEMPS EN JOURS	MILLIMOLÉCULES RESTANT DANS LE LIQUIDE		MILLIMOLÉCULES EN MOUVEMENT		RAPPORTS $\frac{1}{2} \text{ K SO}_4$	
	17°	35°	17°	35	17°	35°
3	0,2	0,2525	— 0,070	— 0,0175	1,4	3,7
6	0,175	0,275	— 0,095	+ 0,005	1,56	2,3
9	0,1625	0,280	— 0,1075	+ 0,010	1,77	5,1
12	0,130	0,320	— 0,140	+ 0,050	1,46	2,55
15	0,050	0,325	— 0,220	+ 0,055	0,99	2,37

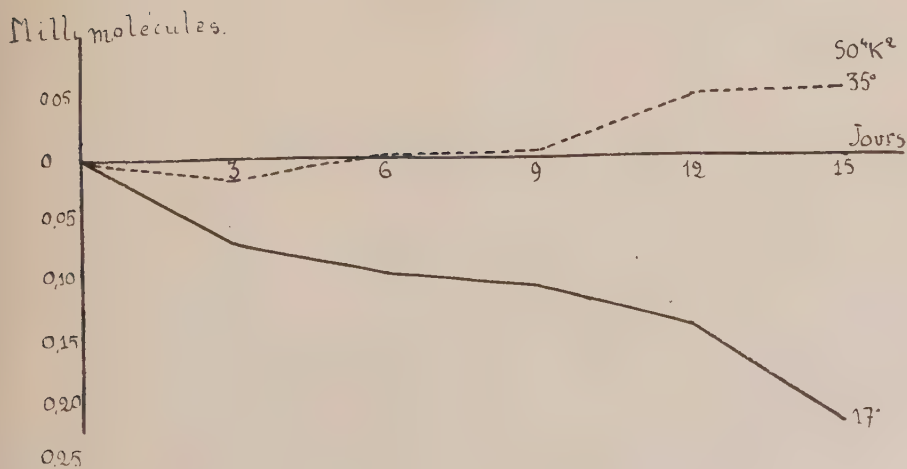
Il est nettement et régulièrement absorbé à 17°.

Graphique 34.



— Potassium —

Graphique 35.



— Acide sulfurique —

A 35°, après une très légère fixation, il en est peu à peu cédé au milieu, en faible quantité d'ailleurs.

Cession de substances ammoniacales au milieu nutritif. — Tableau XXXV.

TABLEAU XXXV

Liquueur témoin : néant.

TEMPS EN JOURS	MILLIMOLÉCULES A 35°
3	0,025
6	0,140
9	0,160
12	0,220
15	0,320

Nous en avons trouvé dans le milieu nutritif des quantités brusquement croissantes du troisième au sixième jour et du douzième au quinzième, ce qui correspond aux pertes de substances des racines et des tiges, observation déjà faite antérieurement.

La part prépondérante dans la cession de l'azote ammoniacal leur revient donc.

IX. — Sulfate d'ammonium.

Solution nutritive.

Sulfate d'ammonium $\frac{M}{200}$	0 g. 660
Phosphate monopotassique	0 g. 0625
Chlorure de calcium	0 g. 125
Carbonate de magnésium ..	0 g. 0625
Eau distillée	1.000 cc.

Poids secs et poids frais. — Tableau XXXVI. Graphiques 36, 37, 38.

TABLEAU XXXVI

Poids en mmg.

TEMPS EN JOURS	POIDS SECS (a)		POIDS FRAIS (b)		RAPPORTS : $100 \times \frac{a}{b}$	
	17°	35°	17°	35°	17°	35°
<i>Racines</i>						
3 1/2	109	125	1426	1685	7,6	7,4
6 1/2	122	105	1695	1640	7,2	6,4
10	127	110	1830	1808	6,9	6,1
12 1/2	110	89	1677	1504	6,6	5,9
15	110	72	1718	1364	6,4	5,5
<i>Tiges</i>						
3 1/2	235	194	2776	2376	8,5	8,2
6 1/2	252	158	3208	2308	7,9	6,8
10	268	143	3532	2180	7,6	6,6
12 1/2	300	137	4399	2272	6,8	6
15	251	97	3669	1791	6,8	5,2
<i>Cotylédons</i>						
3 1/2	335	296	1968	1825	17	16,2
6 1/2	254	309	1760	2043	14,4	15
10	267	294	1922	1988	13,9	14,8
12 1/2	218	237	1799	1628	12,1	14,5
15	263	255	2167	1837	12,1	13,9

Rien de spécial n'est à remarquer dans les rapports de poids et leur variation.

Comme c'est le cas généralement, la diminution à 35° chez les racines, tiges et graines, est nette entre le troisième et le sixième jour et à partir du dixième jour. Ces chutes coïncident encore avec les augmentations successives des produits ammoniacaux dans le milieu.

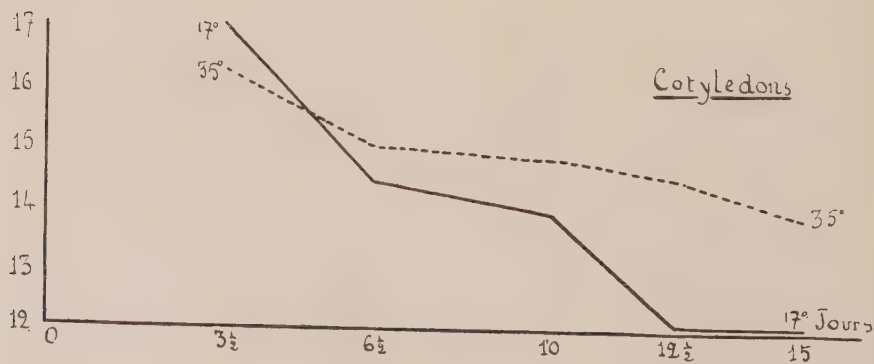
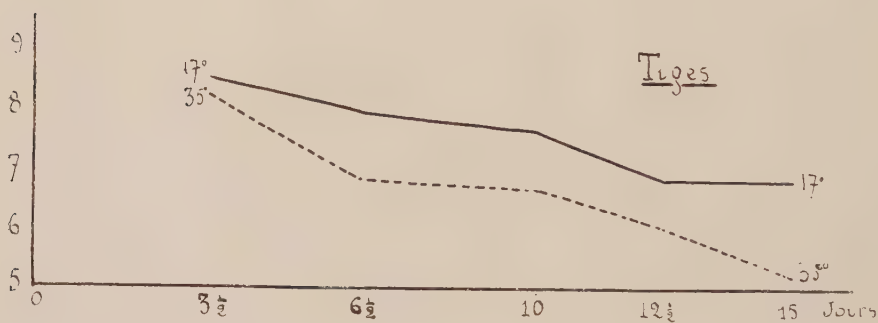
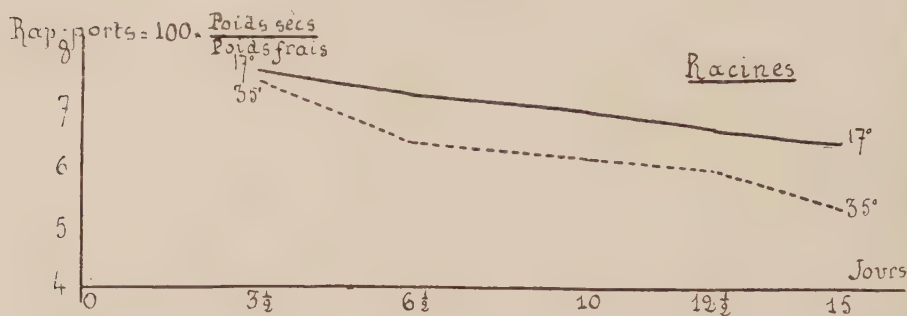
Coefficients de température.

TEMPÉRATURES	RACINES	TIGES	GRAINES
17°	1,18	1,25	1,4
35°	1,4	1,58	1,16

Ils sont comparables à ceux que nous avons obtenus avec le précédent sulfate.

L'élévation de température dans les deux cas ralentit le départ des substances des graines.

Graphiques 36, 37 et 38.



Taux d'hydratation.

TEMPÉRATURES	RACINES	GRAINES
17°	0,87	1,3
35°	0,89	1,36

Pratiquement, il n'y a donc aucune action hydratante de la température en présence du sulfate d'ammonium, ce qui est une différence remarquable avec le sulfate de potassium.

Azote ammoniacal. — Tableau XXXVII. Graphique 39.

TABLEAU XXXVII

Liqueur témoin : 0 millimolécule 560

TEMPS EN JOURS	MILLIMOLÉCULES RESTANT DANS LE LIQUIDE		MILLIMOLÉCULES EN MOUVEMENT	
	17°	35°	17°	35°
3 1/2	0,410	0,545	— 0,150	— 0,015
6 1/2	0,400	0,560	— 0,160	0
10	0,390	0,565	— 0,170	+ 0,050
12 1/2	0,385	0,740	— 0,175	+ 0,180
15	0,385	0,900	— 0,175	+ 0,340

Il est, à la température ordinaire, lentement et régulièrement absorbé dès que l'équilibre est établi.

A température élevée, à une pénétration moindre qu'à 17°, succède une cession d'azote ammoniacal au liquide ambiant avec deux montées rapides de la courbe, du troisième au sixième jour (racines) et du dixième au quinzième jour (tiges et graines).

Acide sulfurique. — Tableau XXXVIII. Graphique 40.

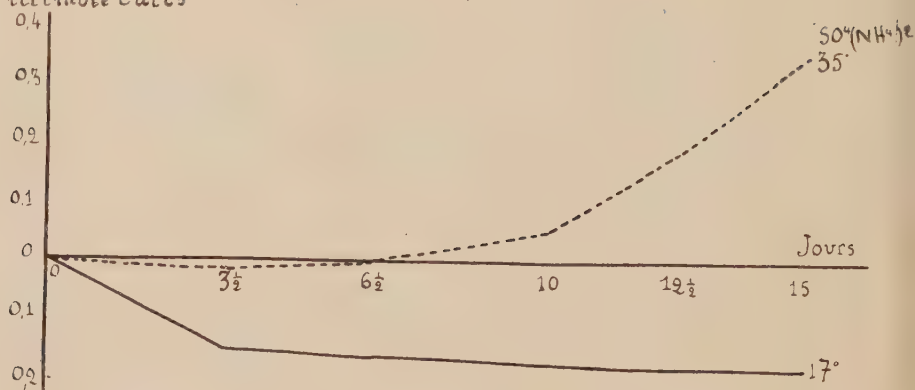
TABLEAU XXXVIII

Liqueur témoin : 0 millimolécule 285.

TEMPS EN JOURS	MILLIMOLÉCULES RES- TANT DANS LE LIQUIDE		MILLIMOLÉCULES EN MOUVEMENT		RAPPORTS $\frac{1}{2} \frac{\text{NH}^4}{\text{SO}^4}$	
	17°	35°	17°	35°	17°	35°
3 1/2	0,280	0,275	— 0,005	— 0,010	15	0,75
6 1/2	0,2375	0,300	— 0,0475	+ 0,015	1,68	0
10	0,2325	0,295	— 0,0525	+ 0,010	1,62	2,5
12 1/2	0,225	0,310	— 0,060	+ 0,025	1,46	3,6
15	0,220	0,305	— 0,065	+ 0,020	1,35	8,5

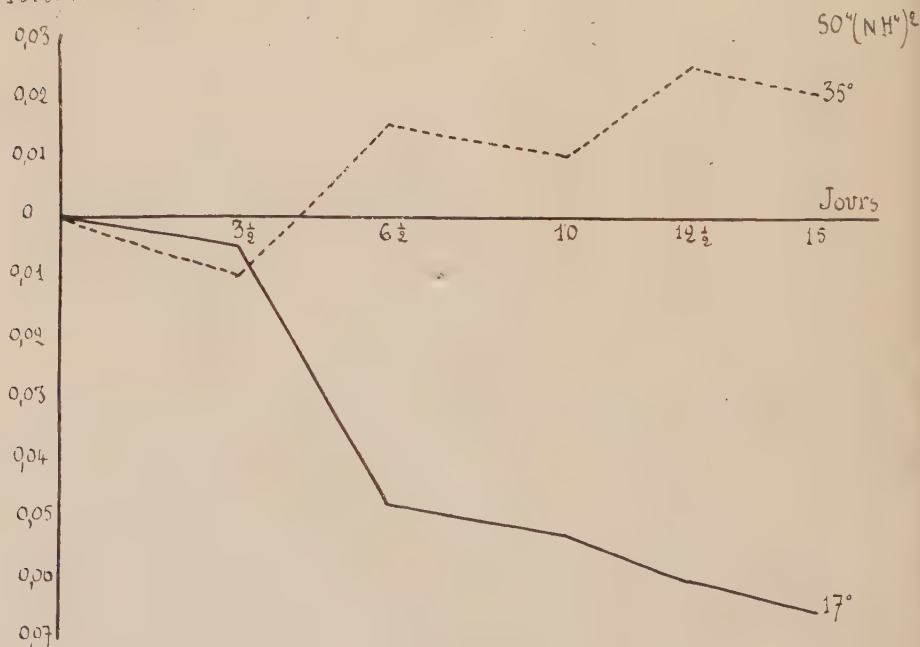
Graphiques 39 et 40.

Millimolécules



- Ammoniaque -

Millimolécules



- Acide sulfurique -

A 17°, l'équilibre s'établit avec moins de régularité et plus de retard que pour le sulfate de potassium. Il faut environ 6 jours pour qu'il le soit, et, à partir de ce moment, la pénétration est régulière. La quantité disparue est inférieure à celle mesurée pour le sel précédent (0 millimolécule, 065 contre 0 millimolécule, 22).

A 35°, après une fixation légère, il y a, comme presque toujours, rétrocession, mais irrégulière. Il semble bien que la mort des racines soit suivie d'une adsorption, puis la mort des cotylédons, accompagnée d'une sortie d'ions SO_4 , suivie d'une nouvelle réadsorption.

PANTANELLI (75) avait constaté que, chez les Dicotylédones, l'ion SO_4 était absorbé plus vite que le cation. Aucun des deux sulfates ne nous a permis de vérifier cette affirmation, au contraire.

X. — Comparaison des deux sulfates.

Leur action sur la végétation et l'intensité des déplacements de matières est identique pour les deux sels considérés. Tous deux amènent, à 35°, chez les graines, une hydratation plus élevée qu'à 17°, mais cela est plus net chez le sulfate de potassium que chez le sulfate d'ammonium. Le premier, à l'inverse du second, la diminue chez les racines.

Il est très net que la présence de l'ion K facilite l'utilisation de l'acide par la plante, comme nous l'avons déjà indiqué. Il en facilite également, à haute température, la sortie.

Cette température agit dans le cas des sulfates, comme pour les sels précédents : les substances solubles contenues dans les racines et les tiges, émigrent rapidement vers le milieu. Seuls les cotylédons, malgré l'élévation du taux d'hydratation, se comportent différemment : ils perdent à 35° moins de matières que n'en utilise la plante à 17°.

XI. — Phosphate de potassium PO_4KH^2

Solution nutritive.

Phosphate monopotassique $\frac{\text{M}}{100}$	1 g. 360
Chlorure de calcium	0 g. 125
Sulfate de magnésium	0 g. 0625
Nitrate de calcium	0 g. 0625
Sulfate de fer	traces
Eau distillée	1.000 cc.

Poids secs et poids frais. — Tableau XXXIX. Graphiques 41, 42, 43.

TABLEAU XXXIX

Poids en mmg.

TEMPS EN JOURS	POIDS SECS (a)		POIDS FRAIS (b)		RAPPORTS : $100 \times \frac{a}{b}$	
<i>Racines</i>						
	17°	35°	17°	35°	17°	35°
3	91	99	1362	1428	6,7	6,9
6	81	81	1336	1313	6,8	6,2
9	124	75	1800	1220	6,9	6,1
12	122	64	1734	1288	7	5
15	89	68	1229	1519	7,2	4,5
<i>Tiges</i>						
3	192	166	2574	2273	7,5	7,3
6	180	159	2571	2412	7	6,6
9	254	151	3680	2290	6,9	6,6
12	233	144	3415	2389	6,8	6
15	212	105	3302	1909	6,7	5,5
<i>Cotylédons</i>						
3	400	392	1955	2000	20,5	19,6
6	326	330	1766	1799	18,5	17,4
9	392	332	2199	1689	17,8	16,7
12	315	279	1911	2090	16,5	13,4
15	312	261	1928	1934	16,2	13

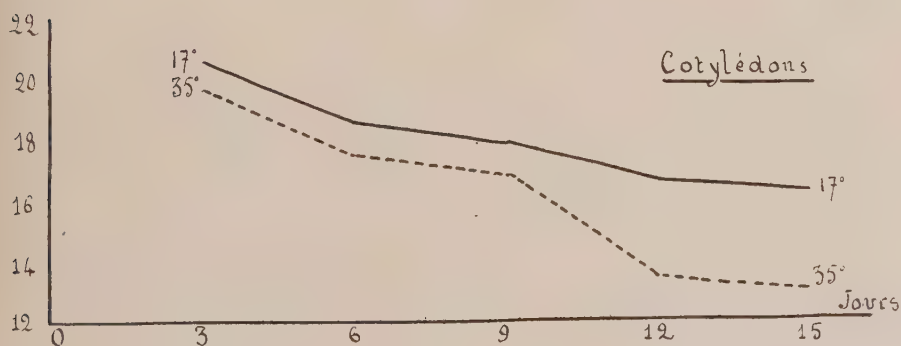
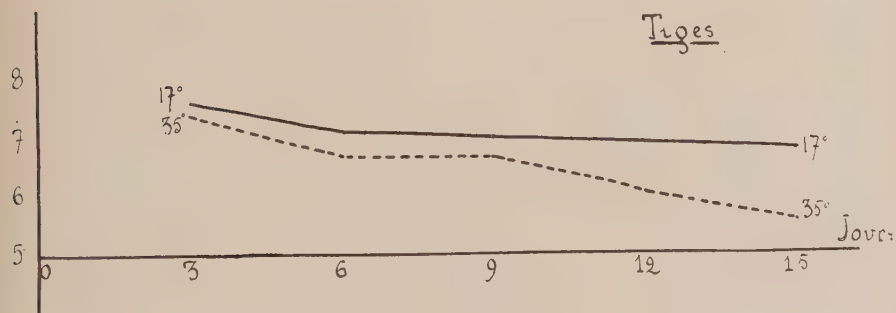
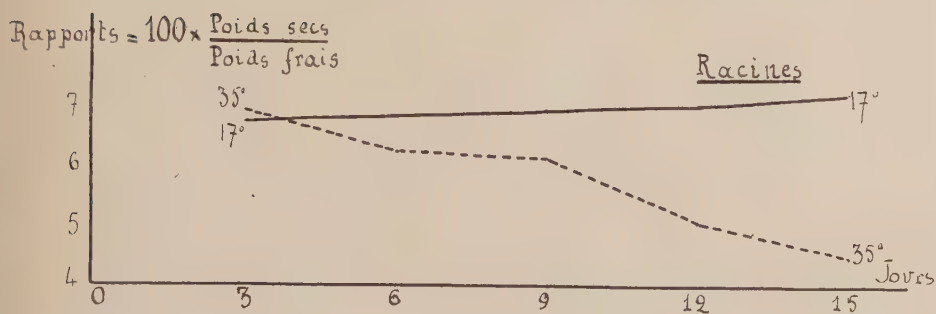
A la température ordinaire, la variation relative des poids est absolument identique à celle observée dans le cas du chlorure de sodium : enrichissement en substance sèche des racines, diminution lente des tiges et des graines.

A 35°, la diminution devient générale, et est comparable à celle trouvée dans la majorité des autres sels étudiés.

Coefficients de température.

TEMPÉRATURES	RACINES	TIGES	GRAINES
17°	0,94	1,12	1,26
35°	1,53	1,33	1,51

Graphiques 41, 42 et 43.



— PO^4KH^2 —

Taux d'hydratation.

TEMPÉRATURES	RACINES	GRAINES
17°	0,985	1,08
35°	0,96	1,13

Il y a donc, à 35°, une action légère tendant à la déshydratation des racines et à l'hydratation des graines.

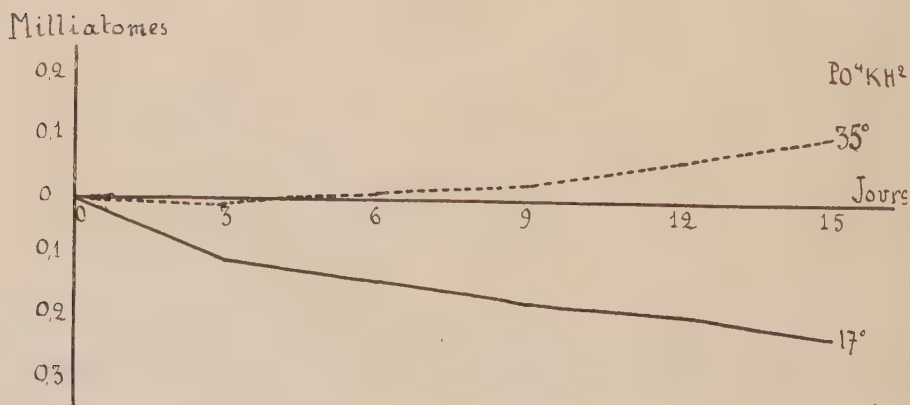
Potassium. — Tableau XL. Graphique 44.

TABLEAU XL

Liqueur témoin : 0 milliatome 55.

TEMPS EN JOURS	MILLIATOMES RESTANT DANS LE LIQUIDE		MILLIATOMES EN MOUVEMENT	
	17°	35°	17°	35°
3	0,449	0,536	— 0,101	— 0,014
6	0,416	0,566	— 0,134	+ 0,016
9	0,380	0,577	— 0,170	+ 0,027
12	0,361	0,617	— 0,189	+ 0,067
15	0,330	0,660	— 0,220	+ 0,110

Graphique 44.



— Potassium —

Pénétrant régulièrement dans les plantes à la température du Laboratoire, il est, après une légère fixation, cédé au milieu à température élevée. La quantité ainsi libérée est relativement faible. Nous aurons d'ailleurs, un peu plus loin à faire, pour tous les sels de potassium, les comparaisons qui s'imposent.

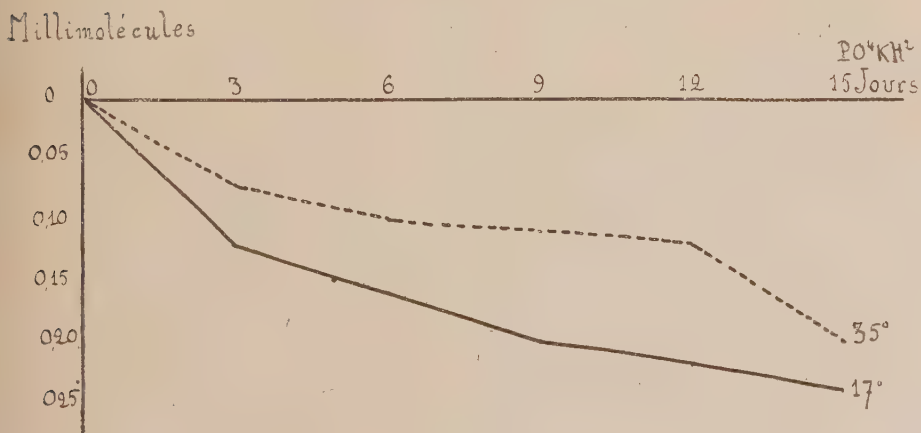
Acide phosphorique. — Tableau XLI. Graphique 45.

TABLEAU XLI

Liquueur témoin : 0 millimolécule 540.

TEMPS EN JOURS	MILLIMOLÉCULES RES- TANT DANS LE LIQUIDE		MILLIMOLÉCULES EN MOUVEMENT		RAPPORTS $\frac{K}{PO^4H^2}$ 17°
	17°	35°	17°	35°	
3	0,430	0,470	— 0,12	— 0,07	0,91
6	0,390	0,440	— 0,16	— 0,10	0,90
9	0,350	0,430	— 0,20	— 0,11	0,90
12	0,320	0,420	— 0,22	— 0,12	0,86
15	0,300	0,340	— 0,24	— 0,20	0,91

Graphique 45.



— Acide phosphorique —

Il est progressivement absorbé quelle que soit la température d'expérience, mais plus rapidement à 17° qu'à 35°.

Cession de substances ammoniacales au milieu nutritif. — Tableau XLII.

TABLEAU XLII
Liquueur témoin : néant.

TEMPS	MILLIMOLÉCULES A 35°
3	0,06
6	0,13
9	0,19
12	0,21
15	0,22

Il en apparaît comme toujours des quantités dont les variations suivent celles des poids des organes : d'abord, les racines, puis les tiges, puis les cotylédons.

XII. — Phosphate d'ammonium $P^4H^2 NH^4$

Solution nutritive.

Phosphate monoammonique $\frac{M}{100}$	1 g. 15
Sulfate de potasse	0 g. 125
Chlorure de calcium	0 g. 0625
Sulfate de magnésium	0 g. 0625
Sulfate de fer	traces
Eau distillée.....	1.000 cc.

Poids secs et poids frais. — Tableau XLIII. Graphiques 46, 47, 48.

TABLEAU XLIII

Poids en mmg.

TEMPS EN JOURS	POIDS SECS (a)		POIDS FRAIS (b)		RAPPORTS : $100 \times \frac{a}{b}$	
<i>Racines</i>						
	17°	35°	17°	35°	17°	35°
3	105	72	1589	1028	6,6	7
6	103	75	1472	1250	7,0	6
9	118	108	1653	1890	7,1	5,7
12	114	75	1518	1338	7,5	5,6
15	127	59	1669	1070	7,6	5,5
<i>Tiges</i>						
3	172	115	2231	1672	7,7	6,9
6	190	140	2808	2120	6,8	6,6
9	212	117	3010	1890	7	6,2
12	215	172	3047	2809	7,1	6,1
15	237	90	3479	1510	6,9	6
<i>Cotylédons</i>						
3	397	462	1933	2095	20,5	22
6	334	296	2035	1776	16,4	16,8
9	303	238	1893	1772	16	13,4
12	263	271	1753	2134	15	12,7
15	253	260	1781	2122	14,2	12,3

Les poids offrent des variations similaires de celles de l'autre phosphate étudié. Ces deux corps sont d'ailleurs ceux dont l'action est la plus homogène de tous les sels étudiés.

Coefficients de température.

TEMPÉRATURES	RACINES	TIGES	GRAINES
17°	0,87	1,12	1,44
35°	1,27	1,15	1,79

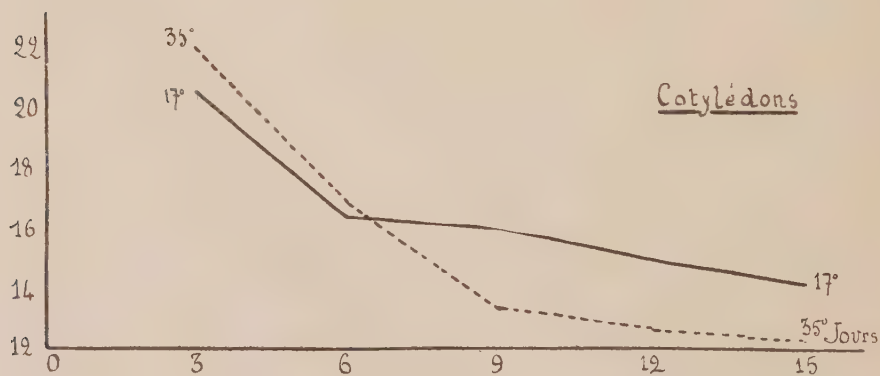
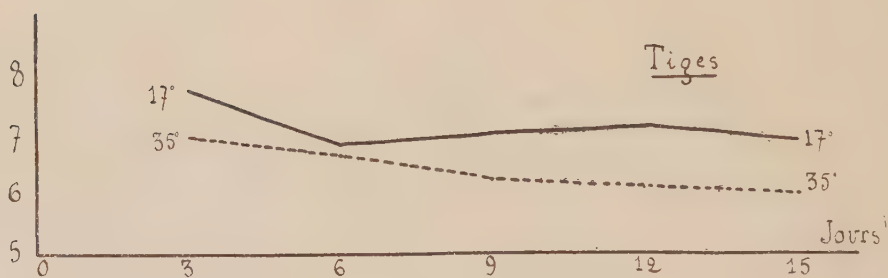
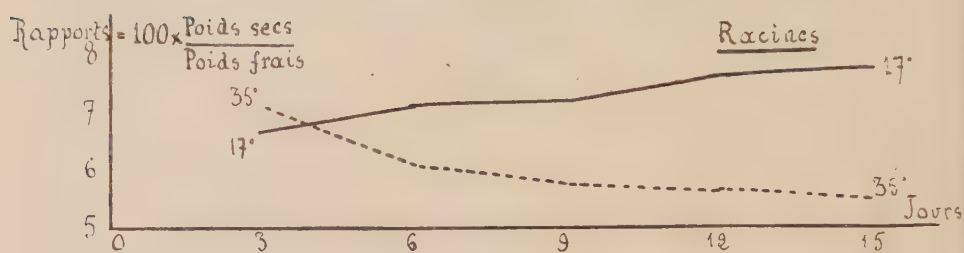
Ces coefficients sont comparables à ceux du sel précédent.

Taux d'hydratation.

TEMPÉRATURES	RACINES	GRAINES
17°	1	1,08
35°	0,94	1,01

Il y a donc, pour les deux organes, une très légère déshydratation.

Graphiques 46, 47 et 48.



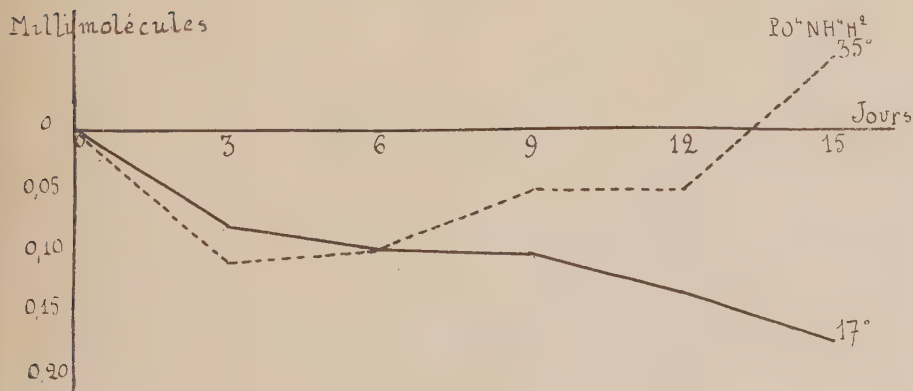
Azote ammoniacal. — Tableau XLIV. Graphique 49.

TABLEAU XLIV

Liquueur témoin : 0 millimolécule 520.

TEMPS EN JOURS	MILLIMOLÉCULES RESTANT DANS LE LIQUIDE		MILLIMOLÉCULES EN MOUVEMENT	
	17°	35°	17°	35°
3	0,440	0,400	— 0,080	— 0,120
6	0,420	0,420	— 0,100	— 0,100
9	0,417	0,470	— 0,103	— 0,050
12	0,385	0,470	— 0,135	— 0,050
15	0,345	0,580	— 0,175	+ 0,060

Graphique 49.



— Ammoniaque —

Utilisé comme toujours à 17°, il est, fait unique dans les sels ammoniacaux étudiés, fixé même à 35°, puis il est peu à peu rendu et, au bout de quinze jours, on en trouve un très léger excès.

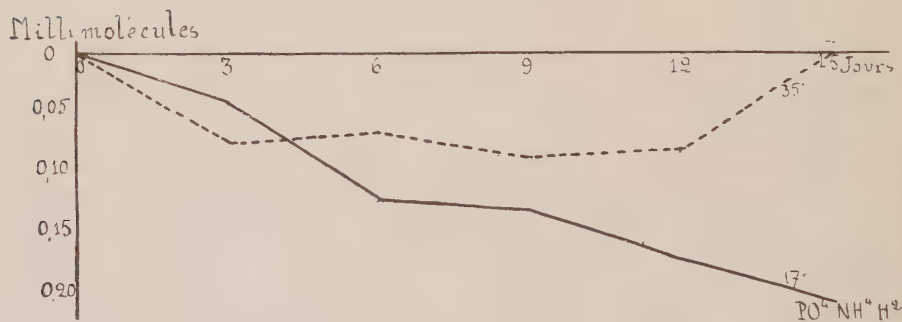
Acide phosphorique. — Tableau XLV. Graphique 50.

TABLEAU XLV

Liquueur témoin : 0 millimolécule 516.

TEMPS EN JOURS	MILLIMOLÉCULES RES- TANT DANS LE LIQUIDE		MILLIMOLÉCULES EN MOUVEMENT		RAPPORTS $\frac{\text{NH}^4}{\text{PO}^4\text{H}^2}$	
	17°	-35°	17°	35°	17°	35°
3	0,476	0,444	— 0,040	— 0,072	2	1,67
6	0,392	0,452	— 0,124	— 0,064	0,80	1,56
9	0,389	0,431	— 0,127	— 0,085	0,81	0,59
12	0,346	0,437	— 0,170	— 0,079	0,80	0,63
15	0,310	0,516	— 0,206	0	0,85	∞

Graphique 50.



— Acide phosphorique —

Il est fixé progressivement à 17°, tandis qu'à 35°, absorbé dès le début, il est peu à peu rendu dans son intégralité. Au bout de quinze jours, on le retrouve exactement égal à la quantité contenue primitivement dans la solution.

La présence de cet acide diminue considérablement la perméabilité à l'ion NH^4 , comme il avait d'ailleurs diminué la perméabilité au potassium. L'ion phosphorique se comporte, parmi tous les anions étudiés, d'une façon toute particulière.

XIII. — Comparaison des deux phosphates.

Leur action, comme nous l'avons fait remarquer, est extrêmement comparable. La seule différence — et elle est faible — consiste dans le fait que le phosphate monopotassique amène à 35° une hydratation supérieure à celle de 17°, tandis que c'est l'inverse pour le phosphate monoammonique.

Cependant, alors que le potassium permet à température élevée une fixation progressive de l'ion acide, l'ammonium l'amène peu à peu à quitter les tissus. Enfin, quand la température s'élève, au lieu d'une exsmose considérable de produits ammoniacaux, il y a d'abord fixation, puis lente rétrocession.

CHAPITRE V

COMPARAISON DES RÉSULTATS

Coefficients de température. — Tableau XLVI.

TABLEAU XLVI

SELS ÉTUDIÉS	RACINES		TIGES		GRAINES	
	17°	35°	17°	35°	17°	35°
KCl	1,3	1,27	1,26	1,35	1,78	1,99
NH ⁴ Cl	0,93	0,78	1,10	1,11	1,16	1,37
NaCl	0,86	1,4	1,25	1,10	1,33	1,16
NO ³ K	1,13	1,46	1,37	1,25	1,45	1,28
NO ³ NH ⁴	0,97	1,5	1,20	1,13	1,37	1,65
SO ⁴ K ²	0,97	1,64	1,1	1,61	1,4	1,33
SO ⁴ (NH ⁴) ²	1,18	1,4	1,25	1,58	1,4	1,16
PO ⁴ KH ²	0,94	1,53	1,12	1,33	1,26	1,51
PO ⁴ H ² NH ⁴	0,87	1,27	1,12	1,15	1,44	1,79

Leur signification a été antérieurement précisée.

A la température ordinaire, ces quotients sont les uns inférieurs, les autres supérieurs à l'unité.

Les premiers sont ceux relatifs aux chlorure de sodium, phosphate d'ammonium, chlorure d'ammonium, phosphate de potassium, nitrate d'ammonium et sulfate de potassium. Parmi eux, trois (NH⁴Cl, NO³NH⁴, SO⁴K²) présentent des augmentations intermédiaires supérieures à celles qu'indiquent ces quotients.

Les autres sels (KCl, NO³K et SO⁴(NH⁴)²), ont des coefficients supérieurs à 1.

Nous ne voyons actuellement aucune explication satisfaisante de ces faits.

A 35°, il y a une augmentation parfois considérable des coefficients de température, sauf pour NH_4Cl et KCl (où la diminution est à peine marquée). Ces deux derniers sels sont précisément ceux dont les racines gagnent de l'eau quand la température s'élève. Nous ne saurions affirmer qu'il y a un rapport étroit entre les deux catégories de faits, mais la coïncidence méritait d'être relevée.

Dans les tiges, l'élévation de température pour les milieux avec NaCl , NO_3K et NO_3NH_4 , détermine une diminution des quotients. Ces corps amènent un ralentissement des migrations de substances à 35° par rapport à celles de 17°, étant entendu que ces mouvements de matières sont de sens inverses aux deux températures.

Tous les autres sels ont une action opposée à celle-ci. Ils se classent de la façon suivante :

SO_4K^2 , $\text{SO}_4(\text{NH}_4)^2$, PO_4KH^2 , KCl , $\text{PO}_4\text{H}^2\text{NH}_4$, NH_4Cl .

D'ailleurs, le gonflement de la tige y est extrêmement net, mais il s'arrête au niveau du bourgeon terminal, qui ne gonfle pas, par un bourrelet quelquefois très apparent. L'action sur les tissus jeunes et l'action sur les tissus plus âgés sont donc, là encore, différentes.

Quand la température s'élève, les nitrates paraissent réduire la perméabilité cellulaire dans la tige, tandis que les autres sels étudiés semblent l'augmenter, énormément pour le sulfate de potassium, infiniment peu pour le chlorure d'ammonium.

La valeur des quotients pour les graines à 17° nous renseigne sur leur activité chimique interne. Il est en effet bien évident que les coefficients les plus élevés correspondent à une disparition plus considérable des substances qu'elles contiennent. L'activité décroissante des sels les classe ainsi :

KCl , NO_3K , $\text{PO}_4\text{H}^2(\text{NH}_4)$, SO_4K^2 et $\text{SO}_4(\text{NH}_4)^2$, NO_3NH_4 , NaCl , PO_4KH^2 et NH_4Cl .

Est-ce là également un classement de toxicité diastasique croissante ? Nous inclinons à le penser.

A 35°, quatre sels déterminent un ralentissement de cette disparition de matières dans les cotylédons.

Ce sont : NaCl , NO_3K , SO_4K^2 et $\text{SO}_4(\text{NH}_4)^2$. Les autres sels au contraire l'accélèrent par rapport à la température ordinaire : NO_3NH_4 , PO_4KH^2 et $\text{PO}_4\text{H}^2(\text{NH}_4)$, KCl et NH_4Cl .

Cela signifie simplement que les pertes de substances au bénéfice du milieu extérieur, sont plus intenses pour les quatre premiers sels que pour les cinq derniers, mais elles existent dans tous les cas.

Taux d'hydratation. — Tableau XLVII.

TABLEAU XLVII

SELS ÉTUDIÉS	RACINES		GRAINES	
	17°	35°	17°	35°
KCl	0,94	1,08	0,97	1,16
NH ⁴ Cl	1,08	1,42	1,36	1,17
NaCl	1,12	0,97	1,24	1,42
NO ³ K	0,97	0,92	1,27	1,37
NO ³ NH ⁴	1,12	0,92	1,3	1,11
SO ⁴ K ²	1,05	0,89	1,14	1,33
SO ⁴ (NH ⁴) ²	0,87	0,89	1,3	1,36
PO ⁴ KH ²	0,985	0,96	1,08	1,13
PO ⁴ H ² NH ⁴	1	0,94	1,08	1,01

L'action des sels sur les racines à 17° et à 35° est variable suivant les corps considérés.

Trois d'entre eux déterminent une augmentation de la teneur en eau : ce sont, par ordre de grandeur décroissante, NH⁴Cl, KCl, et SO⁴(NH⁴)², (sel dont l'action est très faible). Les six autres donnent une diminution ; les voici classés de la même façon que précédemment : NO³NH⁴, SO⁴K², NaCl, PO⁴H²NH⁴, NO³K, PO⁴KH².

Donc, contrairement à ce qu'ont trouvé VESQUE (102) VAN RYSELBERGHE (100) et PETRIE (76), la majorité des sels étudiés n'augmentent pas la valeur en eau des tissus jeunes et vigoureux, au contraire.

On ne peut toutefois pas donner de loi générale absolue, chacun des deux ions ayant son action propre, et la part qui revient à chacun d'eux ne pouvant pas être exactement déterminée. C'est ainsi que KCl a la même action sur racines et graines : action d'augmentation ; PO⁴H²NH⁴ a, lui, dans les deux organes, un effet de diminution ; SO⁴(NH⁴)² amène une très faible augmentation. Tous les autres sels ont une action inverse sur le système racinaire et les cotylédons : diminution de la teneur en eau

des premiers et augmentation des seconds. Les différences du taux de cette hydratation, entre 17 et 35°, sont du même ordre de grandeur relative dans les deux organes : les sels agissant faiblement sur les uns, agissent faiblement sur les autres, et inversement.

Sur les graines, les résultats sont plus nets que sur les racines. Trois sels ammoniacaux, le chlorure, le nitrate et le phosphate, sont cause d'une déshydratation quand la température s'élève. Le sulfate a une action tout à fait faible, orientée cependant vers une légère hydratation. Il nous est donc possible de conclure que, d'une façon générale, à une augmentation de température, correspond pour les sels ammoniacaux, une diminution de la teneur en eau des cotylédons.

Quant aux autres sels (sels potassiques et chlorure de sodium), ils déterminent un accroissement d'hydratation. L'ion K favorise donc la pénétration de l'eau dans un tissu à vie ralentie quand la température s'élève.

Malgré des apparences contraires, ces résultats sont conformes à ceux des précédents auteurs. Ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, ces derniers ont utilisé des tissus (fragments de Pomme de terre, de Topinambour, de Carotte, etc.) qui peuvent être comparés, au point de vue de l'activité organique, aux graines de Pois.

Ils s'accordent également pour les racines avec les observations faites sur le vacuome de la cellule d'Oignon. Nous y avons constaté en effet une diminution de l'appareil vacuolaire de 25 à 35° et par suite, très probablement, une diminution de la quantité d'eau totale de la cellule, et des tissus jeunes considérés.

L'azote ammoniacal. — Tableaux XLVIII et XLIX.

TABLEAU XLVIII

TEMPÉR.	NH_4Cl	NO^3NH^4	$\text{SO}^4(\text{NH}^4)^2$	$\text{PO}^4\text{H}^2\text{NH}^4$
17° 2 jours	— 0,12	— 0,083	— 0,15	— 0,08
15 —	— 0,185	— 0,162	— 0,175	— 0,175
35° 3 jours	+ 0,105	+ 0,058	+ 0,015	— 0,12
15 —	+ 0,34	+ 0,147	+ 0,34	+ 0,06

TABLEAU XLIX

TEMPÉRATURES	KCl	NaCl	NO ³ K	SO ⁴ K ²	PO ⁴ KH ²
35° 3 jours	+ 0,065	+ 0,04	+ 0,055	+ 0,015	+ 0,06
15 —	+ 0,4	+ 0,133	+ 0,22	+ 0,34	+ 0,24

Il est remarquable qu'à la température ordinaire, la nature de l'acide n'influe pour ainsi dire pas sur la pénétration de l'ammoniaque dans la plante, comme le montre le tableau XLVIII. Notons cependant que c'est avec le nitrate d'ammoniaque qu'il en disparaît le moins ; il en est de même, d'ailleurs, pour l'azote nitrique : en leur temps, nous avons interprété ces faits comme le résultat d'un antagonisme entre les deux ions constituant ce sel si particulier.

A 35°, la quantité d'azote ammoniacal en excédent dans le milieu liquide est la même pour le chlorure et le sulfate d'ammonium, mais elle diminue nettement pour le nitrate et considérablement pour le phosphate. Les phosphates sont d'ailleurs, presque à tous les points de vue, des corps qui ont un comportement bien spécial.

La mort brutale par la chaleur a libéré une quantité d'ammoniaque égale à 0 millimolécule, 235. La mort lente en libère des quantités variables, supérieures à la précédente pour le chlorure d'ammonium et le chlorure de potassium, pour les deux sulfates étudiés ; dans les autres cas, il en apparaît moins, mais il en apparaît *constamment*. Excitation diastasique ici, diminution là, variation de perméabilité ? Pour nous, les deux catégories de phénomènes agiraient, avec une prédominance des actions diastasiques.

Ce qui importe, c'est la généralité du fait, et, partant, la certitude, d'une part, d'un renversement complet de la polarité de cette perméabilité, d'autre part, l'existence dans le Pois de substances ammoniacales, produits de digestion des matières albuminoïdes que contiennent ces graines.

Nous avons trouvé ailleurs, qu'il y avait également circulation active de nitrates.

Il va de soi que ces constatations n'ont actuellement de valeur que pour les différents sels étudiés.

Potassium. — Tableau L.

TABLEAU L

TEMPÉRATURES	KCl	NO ³ K	SO ⁴ K ²	PO ⁴ KH ²
17° 3 jours	— 0,116	— 0,063	— 0,182	— 0,101
15 —	— 0,182	— 0,254	— 0,434	— 0,220
35° 3 jours	+ 0,112	+ 0,065	— 0,130	— 0,014
15 —	+ 0,359	+ 0,305	+ 0,260	+ 0,110

A la température ordinaire, c'est le potassium du sulfate qui est de beaucoup le plus fortement absorbé. Viennent ensuite le phosphate, le nitrate et le chlorure de potassium. L'influence de l'ion acide est donc manifeste, mais notre classification ne concorde pas du tout avec celle de NIKLEWSKI, KRAUSE et LEMANCZYK (73) qui donnent, par ordre de grandeur décroissante : nitrate, chlorure, sulfate et phosphate.

A 35° et dans tous les cas, il y a un passage du potassium de la plante vers le milieu, comme dans le cas de l'ammoniaque. Les quantités exosmosées sont très différentes, et, par ordre décroissant, les sels se classent ainsi : KCl, NO³K, SO⁴K², PO⁴KH², suite presque identique, cette fois, à celle des précédents auteurs.

L'action des anions n'est donc pas la même aux deux températures : il y a bien un renversement de la perméabilité, mais il y a sûrement plus que cela encore. Les phénomènes sont extraordinairement complexes, comme toujours lorsqu'il s'agit d'action portant directement sur la matière vivante et les échanges vitaux.

Comparaison des sels à même acide. — Tableau LI.

TABLEAU LI

Nitrates (Azote nitrique)

TEMPÉRATURES	$\text{NO}^3 \text{K}$	$\text{NO}^3 \text{NH}^4$	$\text{NO}^3 \text{NH}^4$ (mort brutale)
17° 3 j.	— 0,15	— 0,048	
15 j.	— 0,315	— 0,315	
35° 3 j.	— 0,06	— 0,056	+ 0,160
15 j.	+ 1,53	+ 0,352	+ 0,860

Sulfates (acide sulfurique).

TEMPÉRATURES	$\text{SO}^4 \text{K}^2$	$\text{SO}^4 (\text{NH}^4)^2$
17° 3 j.	— 0,07	— 0,05
15 j.	— 0,22	— 0,065
35° 3 j.	— 0,0175	— 0,01
15 j.	+ 0,055	+ 0,02

Phosphates (acide phosphorique)

TEMPÉRATURES	$\text{PO}^4 \text{KH}^2$	$\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{NH}^4$
17° 3 j.	— 0,12	— 0,04
15 j.	— 0,24	— 0,206
35° 3 j.	— 0,07	— 0,072
15 j.	— 0,2	0

Chlorures (Chlore) seul KCl en a permis la fixation.

Elle a été amorcée à la suite de chaque série de sels.

Cependant, la comparaison de l'ensemble des résultats montre qu'à temps égaux et à la température ordinaire, l'ion K, comparativement à l'ion NH^4 , facilite la pénétration de l'acide qui lui est associé. Très marquée pour le chlore, cette action l'est également pour NO^3 , SO^4 et $\text{PO}^4 \text{H}^2$.

La variation est de même sens à 35° : il sort plus d'anion lors-

qu'il s'agit d'un sel potassique qu'il n'en sort quand c'est un sel ammoniacal.

Une explication simple de tous ces faits pourrait venir à l'esprit : quand la plante se trouve dans des conditions de température pathologique, elle se « vide » littéralement dans le milieu extérieur. Il suffira, pour se convaincre de l'insuffisance d'un tel raisonnement, de comparer la constitution du végétal et les résultats obtenus.

1^o Constitution du Pois d'après WEHMER (109, page 360).

Azote combiné à la substance de la plante	23,35 %
Azote libre	52,65

2^o Constitution des racines après culture sur eau, d'après CZAPECK (15 Bd II, page 469).

Cendres	14,27 %
Potasse	37,2
Soude.....	1,43
Chaux	17,01
P ² O ⁵	13,78
SO ³	16,23

3^o Constitution de la graine, d'après le même (Bd II, p. 375).

K ² O	4,3 %
Na ² O.....	0,98
P ² O ⁵	35,90

Ces nombres permettent de comprendre pourquoi l'ammonium et le potassium l'emportent sur le sodium, mais ils ne permettent pas d'expliquer les différences entre les sels, ni le fait que les végétaux à 35° cèdent, en général, plus d'azote ammoniacal ou d'azote nitrique que par une mort brutale. Le raisonnement serait le même pour les acides. Et, enfin, comment se fait-il que l'acide phosphorique est absorbé à 35°, au lieu d'être exosmosé, alors qu'il y en a partout et en grande quantité dans la plante ?

La question est beaucoup plus compliquée que cette vue simple. Les hypothèses que nous émettons, les explications que nous donnons n'ont, de ce fait, qu'une valeur toute relative. Elles permettront de susciter, du moins nous l'espérons, des recherches de vérification.

CHAPITRE VI

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Dans toutes les considérations qui précèdent, nous avons surtout mis en relief les différences les plus importantes et les plus remarquables entre les sels. Elles peuvent se résumer de la façon suivante :

Les sels potassiques permettent une absorption ou une exomose plus considérable que les sels ammoniacaux. Dans chaque série de corps, l'acide joue un grand rôle dans le volume de ces échanges. A 17°, cependant, l'ammonium des substances étudiées pénètre à la même vitesse, quel que soit l'anion, mais à 35°, la sortie en est, par contre, liée à la nature de l'acide.

Néanmoins, l'élévation de température et son maintien à la température d'arrêt de la végétation amènent, dans tous les cas, des réactions sensiblement identiques du végétal.

D'une façon générale, il y a une perte d'eau plus ou moins marquée chez les racines, organes formés de cellules jeunes et actives, et un gain chez les cotylédons, constitués de cellules bourrées d'inclusions et de vie beaucoup plus ralentie.

D'autre part, au bout de quinze jours, et, souvent, dès les premiers jours, la plante a perdu une quantité parfois considérable de matières, comme le montre la comparaison des rapports de poids. Ce fait est particulièrement net chez les racines, mais tiges et graines y participent dans des proportions variables. Dans les conditions normales, les tissus de la jeune plante sont de plus en plus riches en eau, et ses graines, par l'utilisation de leur contenu, de plus en plus pauvres en substance sèche. A température élevée, les variations sont beaucoup plus considérables que dans le cas normal, mais, comme nous l'avons déjà dit, elles ont une signification rigoureusement inverse.

Il y a donc augmentation de la perméabilité de cellule à cellule ; et la plante, non seulement ne prend plus rien au milieu ambiant, mais elle lui cède des quantités, parfois assez fortes, de substances variées, dont quelques-unes seulement ont été dosées. Cela concorde parfaitement avec les recherches de MOLLIARD (70 b) sur le comportement du *Sterigmatocystis nigra* aux limites des températures vitales. Il avait constaté, dans ces conditions, une déficience minérale du Champignon, qu'il avait attribuée à une diminution de la perméabilité de la membrane pour les éléments minéraux. Nous irons plus loin encore, en ajoutant que, dans la limite de nos recherches, il y a un changement de sens complet de cette propriété, qui, pourrions-nous dire, de positive devient, en quelque sorte, négative. Cette constatation, à elle seule, suffirait amplement à expliquer le fait qu'au-delà de 35°, il n'y a plus ni germination, ni végétation possible pour le Pois et la Fève.

Dans tous les cas, le milieu s'enrichit à 35° en azote ammoniacal, seul corps que nous ayons systématiquement recherché. Il est bien vraisemblable qu'il y en a également d'autres. L'élévation de température, modifiant les propriétés cellulaires et la perméabilité, mais n'arrêtant pas en même temps l'action des diastases, nous a permis de mettre en évidence la forme ammoniacale des substances circulant à l'intérieur du végétal et provenant du contenu de ses cotylédons.

Enfin, les analyses des milieux ont été faites en partant d'un point de vue particulier : savoir ce que devenaient les ions d'un sel mis dans un milieu artificiel de culture à 17° et à 35°. Mais il serait fort intéressant de faire un inventaire méthodique, aussi complet que possible, des substances cédées par la plante lors de sa lente agonie, et d'étudier, dans le même esprit, des végétaux à réserves variées.

QUATRIÈME PARTIE

LES VÉGÉTAUX VIVANT DANS LES EAUX NATURELLEMENT A TEMPÉRATURES ÉLEVÉES

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE

L'étude de la flore thermale française n'a, jusqu'à présent, donné lieu qu'à quelques publications, dues surtout à des botanistes systématiciens signalant la présence de telle ou telle espèce en tel ou tel lieu.

DE SECONDAT (91) décrit en 1742 les Algues de Dax. BORY DE SAINT-VINCENT (5) dans l'article sur les Oscillaires du Dictionnaire classique des Sciences naturelles (T. 12, p. 457) note la présence de certains de ces végétaux à Dax, Plombières et Nérès. DUTROCHET (23 a), en 1835, constate que la Barégine des eaux sulfureuses est surtout composée d'Oscillaires. SOUBEYRAN (94) donne une liste copieuse d'animaux et de végétaux habitant les eaux thermales pyrénéennes, en particulier celles des Graüs d'Olette; à Thuès-les-Bains, mais les températures indiquées sont certainement exagérées : c'est ainsi qu'il y signale, à 75°, des *Closterium* et, à 78°, une *Cypris*. COMÈRE (10) a repris la détermination des Diatomées de certaines de ces sources, et il nous a été possible de retrouver quelques-unes des espèces qu'il y indique. Nérès-les-Bains a été examiné par DE LAURES et BECQUEREL (56). Ces auteurs assimilent,

au point de vue végétatif, les Algues qui y poussent à des plantes supérieures. Ils distinguent toutefois des « Conferves » de bassins chauds (42°-48°) et des « Conferves » de bassins froids (20°-45°), dont la température supérieure nous paraît bien trop élevée.

Dax a donné lieu à des recherches de SERRES (92) et de THORE (97), dénuées de toute précision et, partant, de faible valeur scientifique. Leurs figures sont cependant assez exactes, bien que sans aucune dénomination. Les auteurs suivants y ont reconnu un *Hapalosiphon laminosus*, *Oscillatoria Okenii* et *geminata*. Récemment, LAPEYRÈRE (54), en 1923, a publié une longue liste d'Algues des Baignots, à Dax, sans aucune indication d'ordre biologique ; malgré son titre, ce travail contient bien des espèces non thermales. L'auteur note que les cellules d'*Hapalosiphon* (= *Mastigocladus*. COHN) *laminosus* paraissent augmenter de taille avec la température ; il intègre dans cette espèce, l'espèce *Hapalosiphon major*, créée par TILDEN (98) et trouvée à Yellowstone Park (U. S.).

BORNET et FLAHAUT (4) dans leur « Révision des Nostocacées hétérocystées », GOMONT (36) dans sa « Monographie des Oscillariées » signalaient à Dax, Nérès, Evaux, quelques espèces thermales : *Hapalosiphon laminosus*, *Phormidium laminosum*, *Oscillatoria geminata*.

FRÉMY (34 a et b) étudiant les Scytonémacées et les Stigonémacées de France, complète ces indications sans apporter de faits nouveaux.

Beaucoup plus biologiques sont les observations de DUFRÉNOY (21), DUFRÉNOY et MOLINÉRY (22) sur les sources thermales sulfureuses des Pyrénées.

ALLORGE (1) en 1928, a donné une claire mise au point de la « Biologie des eaux thermales », dans une série de leçons faites au Museum d'Histoire Naturelle, accompagnée de vues personnelles intéressantes. Ce cours n'a malheureusement pas été édité.

Un essai sur « La vie des Boues thermales » dû à VILLARET et BESANCON (104) accorde une grande importance aux phénomènes d'oxydo-réduction, dont les principaux agents seraient les Sulfuraires. Si séduisante que soit la théorie, elle ne saurait être valable pour Dax et les sources non sulfureuses où, malgré de nombreux examens, aucun de ces organismes n'a pu être trouvé.

Les travaux étrangers sont, par contre, extrêmement nombreux.

Nous n'en retiendrons que les principaux et surtout ceux qui dénotent chez leurs auteurs des préoccupations biologiques.

LÖWENSTEIN (64) remarque les grandes différences entre les températures données par les nombreux observateurs et constate « que c'est une erreur fréquemment commise que d'indiquer des plantes à des températures trop élevées ». Cette erreur a été depuis (1903) répétée bien souvent. Il établit que, cultivé sur le milieu de Molisch, le *Mastigocladus laminosus* meurt à 53° et vit de — 19°3 à 52°.

ELENKIN (27), dans une étude sérieuse des « Formations thermophiles d'Algues », ne présente pas de recherches personnelles, mais un rassemblement et une discussion des résultats antérieurs accompagnés d'une excellente bibliographie arrêtée à l'année 1914. Il aboutit à la classification suivante :

a) Algues frigidophiles vivant à des températures variant de 0 à 30°.

b) Algues thermophiles vivant au-dessus de 0°, mais à des températures constantes.

De 0 à 15° : ce sont les formations hypothermophiles.

De 15 à 30° : — — — mésothermophiles.

De 30 à 85° : — — — euthermophiles.

Nous n'avons étudié, d'après ces dénominations, que les formations euthermophiles. Le même auteur indique également que *Mastigocladus laminosus* est presque inconnu dans les eaux froides, ce qui ne concorde pas avec les résultats de LÖWENSTEIN.

VOUK (105 b c) a publié toute une série de recherches sur ces questions. Dans ses travaux sur les « Sources thermales de Zagorje en Croatie », il classe les sources en :

Sources froides ou hypothermes	0 à 18°
— chaudes ou eutherms	30 à 40°
— très chaudes ou acrothermes	40 à 60°
— bouillantes ou hyperthermes	62° et plus.
— tièdes ou hliarothermes	18 à 30°

Les espèces dominantes dans les eaux thermales sont uniquement des Cyanophycées ; les Algues vertes et les Characées n'apparaissent que dans les eaux tièdes.

De ses recherches physiologiques sur le *Mastigocladus laminosus* (105 d, e, f) il résulte que cette Algue peut subir des dessiccations

prolongées et végéter ensuite activement quand les conditions redeviennent favorables. Elle meurt au-dessus de 55°, prospère vers 53° et ne végète plus au-dessous de 40°, chiffres, supérieurs pour les premiers et très différent, pour le dernier de ceux de LÖWENSTEIN.

Nous n'avons pas suivi VOUK dans sa terminologie qui nous paraît surcharger inutilement le vocabulaire, ni dans sa classification qui nous paraît arbitraire.

WORONIKHIN (108 a, b, c) a étudié la végétation des Algues du Caucase. Il en classe les sources en trois groupes :

1° Sources chaudes de 41 à 52° avec Cyanophycées.

2° — moyennes de 31 à 38° avec Cyanophycées et Bacillariacées.

3° — froides de 13 à 23° avec Bacillariacées.

D'après nos remarques, les Diatomées vont beaucoup plus haut, et en abondance, que 38°.

BOYE PETERSEN (6), dans son étude des Cyanophycées d'Islande, signale quelques espèces nouvelles, et quelques Algues à des températures en quelque sorte astronomiques de 100-102°. Ce sont : *Phormidium tenue* (p. 279), *Corium* (p. 282), *Microcoleus Steenstrupii* (p. 292), *Scytonema mirabile* (p. 304). L'auteur donne ces nombres et ces noms d'après STEENSTRUP. Il a eu, à tout le moins, le tort de les accepter sans les discuter.

VILHELM (103 a, b) a étudié la végétation thermale de Piestany, en Tchécoslovaquie. Il y note, entre autres organismes, de 32 à 47°, *Chara Piestanensis*, nov. sp., *Potamogeton crispus*, et, à 93°, *Symploca thermalis*.

MOLISCH (69) a fait dans « Pflanzenbiologie in Japan » une grande place aux formations thermales (Chap. IV, p. 63 à 103). Il y étudie méthodiquement vingt lieux thermaux japonais, et ses conclusions, fondées sur cette large enquête, sont d'un gros intérêt. Il admet comme thermale toute eau dont la température est supérieure à 20°. (Nous ne sommes d'ailleurs pas de cet avis et nous proposons plus loin une autre définition, à notre sens plus précise et plus limitative). Il n'a pour ainsi dire jamais trouvé de plantes supérieures : sauf une seule fois *Lemna polyrhiza*, à 35°. Il ajoute : (p. 66 et 67) « Wenn die Temperatur der Quelle 40°C untersteigt, dann findet man nur selten Grünalgen, während Blaualgen solche Wässer reichlich bewohnen. Je mehr Thermen ich unter-

suchte, desto mehr überzeugte ich mich, dass viele Cyanophyceen im wahren Sinne des Wortes thermophil sind und unter der Algen die höchsten Temperatur bis 69°C ertragen ». Reprenant ensuite les températures maxima données par différents auteurs pour les Algues bleues : 57°, 70°, 85°, 96°, il raille ceux d'entre eux qui les ont rapportées, sans examens convenables ni personnels : BREWER (7) qui observait avec une loupe de poche et confondait, à 93°, *Nostoc* et *Protococcus*, FLOURENS (33) qui parlait à Paris d'Algues islandaises vivant à 98°. Ces nombres, nous venons de le voir, ont encore été dépassés. Les températures étant variables d'une région à l'autre de ces eaux, il indique la nécessité de mesures sérieuses. A l'appui de cette recommandation de bon sens, il cite le cas d'EHRENBURG (26) qui, à Ischia, signale des « Conferves » et des « Anguillulidés » à 81-85°, tandis que HOPPE-SEYLER (46), au même endroit, ne trouve que 53°. Après une étude spéciale de chaque station, montrant, par comparaison avec les études d'autres auteurs, un grand cosmopolitisme des espèces, il apporte les résultats de quelques recherches expérimentales, à la vérité peu précises. De 38 à 43°, sur le liquide de Knop et à la lumière diffuse, poussent surtout des Cyanophycées ; à la température ordinaire, principalement des Chlorophycées et des Euglènes. Beaucoup de Cyanophycées sont thermophiles. Au-delà de 55°, peu de genres continuent à prospérer. Il constate que certaines de ces Algues sont « thermotolérantes » : *Oscillatoria amphibia*, *formosa*, *Phormidium tenue*, *autumnale*, *laminosum*, *fragile*, *Mastigocladus laminosus*, *Chroococcus minor* et *minutus*, tandis que d'autres sont « thermointolérantes », des *Synechococcus* surtout. Sa conclusion a trait à l'origine de la vie sur la terre : « Blicken wir auf alle in dieser Schrift gegebenen Ausführungen zurück, so wird es hohem Grade warscheinlich, dass die ersten auf der Erde aufgetretenen Lebewesen *thermophile* Schizophyceen gewesen sind, d. h. gewisse Bakterien und insbesondere Cyanophyceen, die Wässer der damals noch warmen oder heissen Erdrinde bewohnten und deren Nachkommen sich bis auf den heutigen Tag in der Thermen erhalten hoben ». Cette opinion que la flore thermale est une relique de la flore extrêmement primitive est d'ailleurs partagée par beaucoup d'auteurs. Nous n'en discuterons pas, car elle relève en effet plus du domaine philosophique que du domaine scientifique.

CHAPITRE II

RECHERCHES PERSONNELLES SUR QUELQUES STATIONS THERMALES FRANÇAISES

Nous avons étudié les sources thermales françaises les plus chaudes et les plus accessibles, à l'exception du groupe sulfureux pyrénéen où nous avons seulement examiné Thuès-les-Bains, dans les Pyrénées-Orientales. Ces sources particulières mériteraient une étude méthodique spéciale.

Les stations ont été visitées et les déterminations entreprises sur place. La dénomination des Algues a été précisée au Laboratoire et M. l'Abbé FRÉMY, spécialiste des Cyanophycées, a eu l'extrême obligeance de revoir nos listes, ce dont nous lui sommes très reconnaissant.

Une série de recherches expérimentales sur l'optimum de température, la morphologie externe et le chimisme de certaines de ces Algues thermales a ensuite été entreprise.

Stations étudiées :

- Néris-les-Bains (Allier).
- Bourbon-Lancy (Saône-et-Loire).
- Bourbon-l'Archambault (Allier).
- Evaux-les Bains (Creuse).
- Chaudesaigues (Cantal).
- Thuès-les Bains (Pyrénées-Orientales).
- Dax (Landes).
- Préchacq (Landes).

Chaque station nous a d'ailleurs fourni toute la gamme des températures allant de son maximum à la température ambiante. Toute classification rigoureuse devient, de ce fait, difficile.

Mesures faites et indications physiques et chimiques. — Nous avons mesuré nous-même les températures rapportées, à l'aide de thermomètres maxima. Les déterminations ont été faites au moment des prélèvements, puis à différentes heures afin d'en fixer les variations, qui sont d'ailleurs généralement faibles ou inexistantes.

Nous indiquons également le pH, mesuré colorimétriquement, les analyses chimiques relevées dans les Traités des eaux minérales de JACQUOT et WILM (45), de JADIN et ASTRUC (48) et dans quelques publications plus récentes, et enfin les radioactivités, prises dans les « Eaux minérales radioactives » de PIÉRY et MILHAUD (78), et dans « les données numériques actuelles sur la radioactivité des sources thermales françaises » par LÉPAPE (59 a, b, c). Nous pensons que le rassemblement de ces documents épars dans la littérature scientifique permettra d'étendre cette étude que nous limitons volontairement ici à la température.

Définition d'une eau thermale. — Nous l'avons déjà donnée dans une publication antérieure (31 d).

L'expérience nous a montré que, vers 30°C, lorsque l'eau se renouvelle assez vite, il n'y a pratiquement plus de sensibilité aux variations extérieures, du moins pendant la belle saison. Nous définissons donc comme eaux thermales, les eaux atteignant ou dépassant 30°C, qui sont, pour ainsi dire, soustraites aux augmentations ou diminutions de la température ambiante.

Remarque. — Sur le vu de publications étrangères et en particulier de celles de VILHEM (163 a, b), nous avons espéré trouver dans ce milieu qui constitue un milieu expérimental naturel, des organismes permettant au moins une comparaison cytologique avec les études poursuivies sur la cellule des plantes supérieures. Comme le montreront les listes suivantes, les végétaux habitant les eaux thermales sont presque exclusivement des Cyanophycées et des Diatomées, ne se prêtant pas à une comparaison de ce genre.

ÉTUDE SPÉCIALE DE CHAQUE STATION

I. — Nérès-les-Bains (Allier).

CARACTÈRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX.

De 53°C au griffon, elles tombent à 50-51°C dans le bassin situé devant l'établissement thermal, 35° dans les bassins de refroidissement, 30° au ruisseau d'écoulement.

Les pH vont de 7,1 à 7,4.

D'après BARDET (JADIN et ASTRUC) leur radio activité est de 3,37 millimicrocuries par litre d'eau.

Leur composition chimique (Jacquot et Willm, p. 113-114) est la suivante :

Sulfate de soude	0 g. 3651 par litre d'eau
Carbonate de soude.....	0 g. 3175 —
Chlorure de sodium	0 g. 1816 —
Silice	0 g. 108 —
Bicarbonate de calcium	0 g. 0973 —
Résidu sec à 150°.....	1 g. 1256 —

Elles sont sulfatées et bicarbonatées sodiques.

VÉGÉTATION.

1° Bassin à 50-51°C, pH : 7,1

Les parois et le fond sont tapissées d'une végétation abondante de Cyanophycées, d'une belle couleur vert émeraude. Ces Algues s'accroissent rapidement ; entraînées par les gaz qu'elles accumulent, elles se pédicellent, se détachent et montent à la surface. Elles s'y parcheminent, durcissent et jaunissent.

Chroococcus membraninus. Menegh.

— *minutus*. Næg.

Symploca thermalis. Gom., abondant, en plaques simulant un *Phormidium*.

Mastigocladus laminosus, avec ses trois formes :

— *typica*, rare.

— *anabænoïdes*. Boye P. abondantes.

— *phormidioides*. Boye P. —

Oscillatoria limnetica. Lemm.

2° Bassins de refroidissement. pH : 7,4.

La température y varie de 20 à 50° C suivant que l'alimentation se fait par l'eau chaude ou l'eau froide. La température mesurée au moment de l'observation était de 34°.

a) sur le fond, à température de quelques degrés plus basse que vers le haut.

Chroococcus minutus.

Gloeocapsa gelatinosa. Kütz.

— *alpina*. Nag.

Symploca thermalis

— *elegans*. Kütz.

Mastigocladus laminosus : formes rameuses et non rameuses.

Protococcus viridis. Ag.

Cosmarium Meneghinii. Bréb.

b) sur les parois, vers la partie supérieure de l'eau.

Gloeocapsa polydermatica. Kütz.

— *dermochroa*. Naeg., f. *punctata*.

Lyngbya pærelegans. Lemm.

Phormidium tenue. Gom.

Symploca parietina. Gom.

Mastigocladus laminosus.

Beggiatoa sp.

Cosmarium Meneghinii.

Mougeotia sp.

3° Ruisseau d'écoulement des eaux. 30-32°. pH : 7,1.

Lyngbya lutea. Gom.

Oscillatoria formosa. Bory.

Pleurococcus vulgaris. Naeg.

Ulothrix tenerrima. Kütz.

Diatomées

Navicula rhynchocephala. Kütz.

Nitzschia thermalis. Grun.

Surirella angusta. Kütz.

II. — Bourbon-Lancy (Nièvre).

CARACTÈRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX.

Leurs températures vont de 45 à 62°C.

Leurs pH s'échelonnent de 6,6 à 7 et les radioactivités de 0 millimicrocuries, 54 à 2,99 par litre d'eau.

Leur constitution chimique est pratiquement la même.

Pour le Lymbe, par exemple, elle est la suivante :

Chlorure de sodium	1 g. 2841 par litre d'eau
Bicarbonate de calcium	0 g. 2018 —
Sulfate de soude	0 g. 0506 —
Sulfate de potasse	0 g. 0907 —
Silice	0 g. 07 —
Résidu sec à 150°	1 g. 7394

(Jacquot et Willm, p. 96).

Elles sont donc chlorurées sodiques et bicarbonatées.

VÉGÉTATION.

1° Source du Lymbe.

Température : 56-62°C. pH : 6,6. Radioactivité : 1 MmC, 23

Le niveau de l'eau varie suivant qu'on l'utilise ou non, et le végétal est soumis, de ce fait, à des différences de températures de 30° au moins. Cela ne l'empêche pas de pousser très activement.

Mastigocladus laminosus : formes non rameuses.

2° Source Descures

Température : 54-59°C. pH : 6,6. Radioactivité : 0 MmC 95.

Les Algues, par leur aspect, leur couleur et leur mode végétatif, rappellent celles de Nérès. Elles sont abondantes.

Symploca thermalis, f. phormidioides.

Oscillatoria geminata, Menegh., très beau.

Mastigocladus laminosus, formes non rameuses.

Protococcus viridis, sur les parois, vers 35°.

3° Source Reine-Bourbon.

L'eau ne contient que des Bactériacées. Le large auvent qui protège la source empêche l'arrivée d'une lumière suffisante.

Sur les parois et dans la vapeur vivent :

Symploca thermalis, très beau.

Fischerella thermalis, forme jeune à gaines minces et incolores. Gom.

4° Source Saint-Léger.

Température : 45-49°C. pH : 7. Radioactivité : 2 MmC, 21.

Symploca thermalis.

Mastigocladus laminosus, f. non rameuses.

5° Source Valois.

Température : 45-48°C. pH : 6,7. Radioactivité : 2 MmC 99.

Aphanotheca, sp.

Symploca thermalis.

Phormidium valderianum, Gom. en faible quantité.

— *corium*. Gom. quelques filaments.

6° Bassin de refroidissement.

Température : 35°C. pH : 6,7.

Chroococcus minutus.

Mastigocladus laminosus, f. non rameuses.

7° Ruisseau d'écoulement.

Température : 28°C. pH : 7.

Oscillatoria tenuis. Ag.

— *geminata*.

Ulothrix tenerrima.

Cedogonium sp.

Rhizoclonium hieroglyphicum. Kütz.

Nitzschia thermalis.

III. — Bourbon-L'Archambault (Allier).

CARACTÈRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX.

Les températures s'échelonnent de 32 à 52°C.

Les pH sont de 6,8 à 7.

La radioactivité mesurée par LÉPAPE (59 b), est de 0 milimicrocurie, 21 par litre d'eau.

La constitution chimique (Jacquot et Willm, p. 111-112) est la suivante :

Chlorure de sodium	1 g. 770	par litre.
Carbonate de soude	0 g. 4759	—
Sulfate de soude	0 g. 352	—
Bicarbonate de calcium	0 g. 2791	—
Sulfate de potasse	0 g. 1557	
Résidu sec	3 g. 1844	

Fortement minéralisées par rapport aux autres sources étudiées, elles sont chlorurées sodiques.

VÉGÉTATION.

1° Puits d'eau chaude.

Température : 52°C, pH : 6,8.

Durant la saison thermale, il n'y a pas de végétation, l'eau étant immédiatement utilisée. L'hiver, le niveau remonte jusqu'aux margelles des puits, et la surface se recouvre d'Algues qui se conservent d'une année à l'autre, malgré les fortes variations de températures et la dessiccation.

Phormidium inundatum. Kütz.

— *tenue*.

— *laminosum*. Gom.

2° Bassin de refroidissement.

Température : 32-36°C, pH : 7

Chroococcus varius. A. Braun.

Symploca thermalis.

Cosmarium Meneghinii.

Protonemas de Mousses.

3° Fontaine, près du puits.

Les végétaux sont soumis successivement à des températures variant de 15 (air ambiant) à 52° (eau chaude).

Glococapsa gélatinosa.

Symploca thermalis, elegans.

IV. — **Evaux-les-Bains (Creuse).**

CARACTÈRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX.

Les points d'émergence sont nombreux, ainsi que les bassins et écoulements divers.

Les températures s'échelonnent entre 35 et 52°C, les pH entre 7 et 7,6 et les radioactivités vont de 1 millimicrocurie, 06 pour la Source Sainte-Marie à 2,34 pour la Source César (CLUZET et NOGIER) (9).

La constitution chimique des Sources étudiées est voisine de celle de la Source Sainte Marie.

Sulfate de sodium.....	0 g. 7953
Carbonate de soude	0 g. 2506
Chlorure de sodium	0 g. 1912
Carbonate de calcium anh.	0 g. 1421
Silicate de sodium.....	0 g. 1349
Résidu sec (Jacquot et Willm p. 115).....	1 g. 421

Elles appartiennent aux eaux sulfatées sodiques.

VÉGÉTATION.

1° Source du Puits du Milieu.

Température : 52°C. pH : 7,2.

Mastigocladus laminosus : f. rameuses et non rameuses.

2° Source des Bains de vapeur.

Température : 50°5. pH : 7,2.

Mastigocladus laminosus : f. rameuses et non rameuses (rares).

Symploca thermalis

Denticula tenuis var. *thermalis*. Kütz.

3° Source Desglaudes : puits fermé et éclairé par le haut.

Température : 44°5. pH : 7,0.

Phormidium laminosum.

Fischerella thermalis, peu abondant.

Nitzschia thermalis.

Atmosphère : saturée de vapeur d'eau. Température : 40°.

Chroococcus minutus.

— *minor*. Naeg.

Symploca thermalis, elegans.

Fischerella thermalis, peu abondant.

Scytonema mirabile. Born.

Nombreux protonemas et petites pousses feuillées de Mousses.

Gymnostomum calcareum. Bryol. germ.

4° Source Sainte-Marie.

Température : 51°C. pH : 7,0.

Chroococcus minutus, minor.*Phormidium laminosum*.

5° Source César : pH 7,0.

Ecoulement rapide, température, 39°C.

Phormidium fragile. Gom.— *Retzii*. Gom.

Atmosphère saturée de vapeur d'eau. Faible éclaircissement

Gloeocapsa gelatinosa.*Gloeotheca rupestris*. Born.— var. *lepidarium*, Hansg.*Plectonema nostocorum*, Born.*Nostoc humifusum*. Carm.— *muscorum*. Ag.*Protonèmas* de *Gytnnostomum calcareum*.

6° Source nouvelle.

Température : 37°5. pH : 7,4.

Chroococcus turgidus. Naeg.— *minutus*, minor.*Phormidium inundatum*, *corium*.— *luridum*, Gom.*Cosmarium laeve*.

7° Ecoulement provenant de la Source Sainte Marie. pH : 7,6.

Partie supérieure : température : 43°C.

Mastigocladus laminosus, fi. rameuses et non rameuses.*Symploca dubia*. Gom.*Phormidium laminosum*.

Partie moyenne : température : 39°C.

Chroococcus minutus, *turgidus*.*Epithemia zebra* Kütz.*Surirella ovata*. Kütz.*Nitzschia thermalis*.

Partie inférieure : température, 34°C. mêmes espèces.

Aphanocapsa Grevillei. Raben.*Scytonoma mirabile*.*Diatoma vulgare*. Bory.*Navicula oculata*. Bréb.— *elliptica*. Kütz.— *lata*. Bréb.*Neidium affine*. Ehr.*Cymbella ventricosa*. Kütz.*Rhopalodia gibberula*. Ehr.

8° Bassin ovale.

Température : 36°C. pH : 7,3.

Les Algues en plaques, sont vert émeraude au fond, blanc ver-

dâtre sur les parois et jaunes à la surface. Il s'en dégage de nombreuses bulles de gaz.

Chroococcus minutus.
Aphanocapsa saxicola.
Gloeocapsa compacta.
Phormidium tenue, laminosum.
Oscillatoria splendida.
Mastigocladus laminosus, f. non rameuses.
Nostoc sp.
Scytonema mirabile.
Cosmarium Meneghinii.

9° Bassin rond.

Température : 36-37°C. pH : 7.

Chroococcus minutus.
Aphanolheca microspora. Rabenh.
 — *Naegeli*. Wart.
Phormidium fragile, tenue.
Mastigocladus laminosus, f. non rameuses.
Fischerella thermalis.
Scytonema mirabile, myochrous. Ag., peu abondant.
Cosmarium Meneghinii
Chlorococcum humicolum. Naeg.

V. — Thuès-les-Bains (Pyr.-Orientales).

Cette station est encore appelée les Graüs d'Olette.

CARACTÈRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX.

Les sources sont nombreuses et leur groupe est hétérogène surtout au point de vue des constitutions chimiques et des températures.

Ces dernières, dans les eaux étudiées, varient de 38 à 81°C.

Les pH sont compris entre 8 et 8,3.

Les unes sont sulfureuses, à des degrés divers d'ailleurs, telle la Source de la Grotte. Les autres sont dites désulfurées alcalines, telle celle de la Terrasse.

Voici, à titre d'indication, la constitution de 2 d'entr'elles : (JACQUOT et WILLM, p. 376-377).

a) Sources des Eaux Bonnes, sulfureuses.

Silice	0 g. 0739	par litre.
Carbonate de sodium	0 g. 0482	—
Silicate de sodium	0 g. 0275	—
Sulfates de sodium et de potassium	0 g. 0226	—
Sulfure de sodium	0 g. 0156	—
Hyposulfite de soude.	0 g. 0153	—
Chlorure de sodium	0 g. 0176	—
Résidu sec à 120°.....	0 g. 2624	—

b) *Source de la Terrasse*, désulfurée alcaline.

Carbonate de soude.....	0 g. 059	par litre
Nitrate de soude.....	0 g. 0357	—
Sulfates de sodium et de potassium	0 g. 0170	—
Chlorure de sodium	0 g. 0168	—
Silicate de soude.....	0 g. 0121	—
Silice.....	0 g. 0021	—
Résidu sec	0 g. 2792	—

Leurs radioactivités n'ont pas toutes été mesurées. Celle de la Source de la Grotte est de 1 millimicrocurie 02 à l'émergence. (LEPAPE, 59 a).

VÉGÉTATION.

1° *Source de la Cascade*.

Température : 81° à l'émergence. pH : 8,3, sulfureuse.

Cette eau dévale ensuite dans les rochers où sa température s'abaisse rapidement.

De 80 à 70° aucun organisme vivant décelable ; vers 65°, Bactéries sulfureuses ; vers 60°, nombreuses Diatomées.

Navicula lata.

Epithemia Sorex. Kütz.

— *zebra*, var. *proboscidea*. Kütz.

Diploneis elliptica. Kütz.

Meridion constricta. van H.

2° *Bassin Saint-André*.

Température : 75°.

Aucune trace d'êtres vivants.

3° *Source de la Terrasse*.

Température : 38 à 42°C. pH : 8. Désulfurée.

Aphanocapsa thermalis. Brügg.

Lyngbya Martensiana. Menegh.

Phormidium tenue, *inundatum*, *laminosum*.

— *purpurascens*. Kütz.

Phormidium calidum. Gom.

Capsosira Brebissonii. Kütz.

Navicula Smithii.

Epithemia argus. Kütz.

Synedra ulna, var. *longissima*. V. H.

Nitzschia thermalis.

Denticula tenuis.

4° *Source de la Grotte*.

Température : 49°C., à l'endroit où vivent les Algues, vers la sortie. pH : 8. Sulfureuse.

Lyngbya Diqueti. Gom.

— *limnetica*. Lemm.

Oscillatoria geminata, *formosa* (peu abondantes)

Diatomées très nombreuses :

Denticula elegans, var. *thermalis*. Kütz.
Epithemia zebra, *proboscidea*. Kütz.
Navicula elliptica, var. *ovalis*. Kütz.
Nitzschia thermalis, *lata*;
Synedra ulna.

5° Source *Eaux-Bonnes*.

Température : 42°C. pH : 8,2. Sulfureuse.

Aphanotheca microspora. Rab.
Lyngbya Thuesiana. nov. sp. Frémy.
Capsosira Brebissonii.
Symplocos thermalis.
Scytonema mirabile.

Diatomées peu d'espèces, mais beaucoup d'individus.

Denticula elegans, var. *thermalis*
Nitzschia thermalis.
Achnanthes exilis. Kütz.
 — *coarctata*. Breb.

VI. — Dax (Landes).

CARACTÈRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX.

Les sources sont nombreuses, l'étude a porté sur des températures s'échelonnant de 35 à 58°C. Les pH vont de 7,2 à 7,6.

Les radioactivités, fort différentes, sont comprises entre 0 millimicrocurie, 46 et 8,85. (LEPAPE 59 c).

Les constitutions chimiques, très voisines les unes des autres, peuvent être ramenées à la suivante :

Sulfate de calcium.....	0 g. 3223 par litre.
Chlorure de sodium	0 g. 2776 —
Sulfate de magnésium	0 g. 1381 —
Silice.....	0 g. 0328 —
Résidu sec	1 g. 0244 --
(Jacquot et Willm, p. 455 et suiv.)	

Ce sont donc des eaux sulfatées mixtes, avec prédominance de sulfate de calcium.

VÉGÉTATION.

1° Source « *La Nêhe* ».

Température à l'écoulement extérieur : 56°C. pH : 7,5. Radio-activité : 0 MmC, 46.

La végétation y est peu abondante.

Phormidium tenue.
Mastigocladus laminosus, f. non rameuses.

2° Geyser des Baignots. pH : 7,2.

a) Vasque supérieure. Température : 58°C.

Mastigocladus laminosus, f. rameuses et non rameuses.*Phormidium laminosum*, *tenuis*, *corium*, *inundatum*.*Symploca thermalis*.*Denticula tenuis*.

b) Vasque inférieure : Température : 50°C. mêmes espèces.

Phormidium purpurascens.

3° Fontaine du Port.

Température : 57°C. pH : 7,2. Radioactivité : 1 MmC 15.

Symploca elegans (peu abondant).*Phormidium corium*, *laminosum*.— *papyraceum*. Ag.

4° Bassins situés entre le « Splendid » et les « Thermes ».

pH : 7,5. Radioactivité : 8 MmC 85.

Magnifique végétation d'Algues.

a) Vasque supérieure. Température : 48°C.

Chroococcus minutus, en petite quantité.*Aphanotheca bullosa*.*Phormidium valderianum*, *luridum*.*Oscillatoria princeps*. Vaucher.— *formosa*, *amphibia*, Ag.— *animalis*. Ag.— *geminata*, *neglecta*. Lemm.*Anabaena*, sp., stérile.*Denticula tenuis*.

b) Vasque suivante. Température : 45°C.

Aphanocapsa biformis. A. Braun.*Symploca thermalis*.*Phormidium uncinatum*. Gom.*Mastigocladus laminosus*, f. non rameuses.

c) Vasque suivante. Température : 43°C.

Chroococcus turgidus (peu abondant), *minutus*.*Phormidium uncinatum*, *inundatum*, *luridum*.*Mastigocladus laminosus*, f. non rameuses.

d) Bassin inférieur. Température : 36°C.

Chroococcus minutus.*Oscillatoria formosa*, *brevis*, *princeps*.*Lyngbya Diguei*.*Phormidium fragile*, *laminosum* (peu abondant).*Mastigocladus laminosus*, f. non rameuses.*Nitzschia thermalis*.*Ædogonium* sp., stérile.

5° Trou des Pauvres.

Température : 47°C. pH : 7,4. Radioactivité : 2 MmC, 92.

Oscillatoria formosa.

Mastigocladus laminosus, f. *typica* (rare) et 2 formes non rameuses
Nitzschia thermalis.

6° Bassin de régénération des boues du « Splendid ».

Température : 40-43°C. pH : 7,4.

Oscillatoria princeps, *formosa*.

Phormidium inundatum.

Nitzschia thermalis.

Navicula fuscula. Ehr.

— *ambigua*. Ehr.

Melosira varians. Ag.

7° Bassin ovale, devant les Baignots.

Température : 35-36°C. pH : 7,5.

Chroococcus minutus.

Aphanotheca bullosa.

Oscillatoria princeps, *formosa*, *animalis*.

— *tenuis*, *tenuissima*, *sancta*. Kütz.

— *Cortiana*. Gom.

— *amphibia*.

Phormidium inundatum.

Diatomées nombreuses.

Navicula ambigua, *viridis* var. *affinis*. Kütz.

Melosira varians.

Fragillaria capucina. Desm.

— *capucina*, var. *acuta*. Grönöw.

Synedra capitata. Ehr.

Nitzschia thermalis.

8° Infertuosités des rochers artificiels du Geyser des Baignots.

Région mouillée de gouttes d'eau chaude, dans la vapeur d'eau. Température : 34-36°C.

Phormidium inundatum.

Oscillatoria princeps, *geminata*.

Nitzschia thermalis.

Achnantes coarctata.

Denticula tenuis.

Végétation abondante de la Mousse :

Eucladium verticillatum. Bryol. europ.

VII. — Préchacq (Landes).

CARACTÈRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX.

Les renseignements précis de tous ordres manquent sur cette intéressante station.

Les températures varient de 35 à 61°C, les pH de 7,2 à 7,6.

Les radioactivités, mesurées par LÉPAPE (59 c), vont de 0 MmC 42 à 0,72 par litre d'eau.

Leur composition chimique est la suivante :

Chlorure de sodium.....	0 g. 334 par litre.
Sulfate de soude	0 g. 318 —
Sulfate de calcium.....	0 g. 292 —
Chlorure de magnésium.....	0 g. 116 —
Silice	0 g. 016 —
Minéralisation	1 g. 087 —

(Jacquot et Willm, p. 461)

VÉGÉTATION.

1^e Geyser.

Température : 60-61°C. pH : 7,2. Radioactivité : 0 MmC 72.

Eau très légèrement sulfureuse.

A l'émergence : Sulfuraires en petite quantité.

Dans la vasque :

Symploca sp.

Mastigocladus laminosus, f. non rameuses.

Denticula elegans, var. *thermalis*. Kütz.

2^o Bassin rond.

Température : 54°C. pH : 7,4. Radioactivité : 0 MmC 42.

Végétation peu abondante.

Phormidium tenue.

Mastigocladus laminosus, f. rameuses et non rameuses.

Denticula tenuis.

3^o Bassin carré.

Température : 50-51°C. pH : 7,6.

Chroococcus turgidus, *minutus*.

Aphanotheca bullosa.

Gloeocapsa gelatinosa,

Phormidium Valderianum.

Mastigocladus laminosus, f. non rameuses.

4^o Ruisseau d'écoulement.

Température varie de 50 à 35°C. de 50 à 42°.

Symploca thermalis.

Phormidium tenue.

Mastigocladus laminosus, f. non rameuses.

De 42 à 35°. Mêmes espèces.

Chroococcus turgidus, *minutus*.

Aphanotheca Castagnei. Rab.

— *pallida*. Rab.

Oscillatoria tenuis, *geminata*.

Diatomées nombreuses :

Nitzschia thermalis, *thermalis* var. *intermedia*

— *frustulum*. Kütz.

Navicula stauroptera. Grun.

— *anceps*.

Navicula oblongua, lata.

— *mesolepta*, var. *stauroneiformis*. Grun.

Gomphonema acuminata, var. *trigonocephala*. Grun.

Denticula tenuis.

Synedra ulna.

5° Surface des boues thermales.

Température : 44°C, pH : 7,4.

Oscillatoria tenuis, formosa.

6° Sources chaudes de la rive droite de l'Adour.

Il apparaît, dans le sable de la grève, quelques sources chaudes, à végétation plus ou moins abondante.

a) Première source. Température : 44°. pH : 7,4.

Aphanocapsa pulchra. Kütz.

Oscillatoria chalybea. Mertens.

b) Seconde source. Température : 35-37°. pH : 7,3.

Merismopedia convoluta. Bréb.

— *tenuissima*. Lemm.

Oscillatoria formosa, tenuis, amphibia.

— *subtilissima*. Kütz.

Anabaena oscillarioides. Bory.

Surirella robusta. Ehr.

Spirogyra sp. stérile.

Stigeoclonium sp. stérile.

Scenedesmus quadricaudata.

VIII. — Chaudesaigues (Cantal).

CARACTÈRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX.

Ces eaux, hyperthermales, comptent parmi les plus chaudes de l'Europe : 82° C.

L'étude a porté sur des eaux dont les températures varient de 22°C à 82°, les pH de 7,3 à 7,6.

La radioactivité, d'après le Dr Lormand, est de 0 millimicrocurie 256.

Leur constitution chimique est la suivante :

Bicarbonate de soude	0 g. 592 par litre.
Chlorure de sodium	0 g. 1318 —
Silice et silicates	0 g. 105 —
Résidu sec	0 g. 9378 —

(Jacquot et Willm, p. 164)

Elles sont bicarbonatées sodiques.

VÉGÉTATION.

Des zones de végétation (Cyanophycées surtout) marquent les fontaines et les fuites des canalisations de bois servant au transport de l'eau chaude. Leur étude précise sera faite à propos de l'action de la température sur la répartition de ces organismes.

1° *Eaux thermales de 70° à 82°C.*

Malgré de nombreuses observations, aucun organisme vivant n'a été observé.

2° *Fontaine d'eau chaude, devant l'Hospice des Vieillards.*

Les températures s'échelonnent de 70° au centre de l'écoulement à 22° vers les bords. pH : 7,5.

Aphanocapsa thermalis.

Gloeocapsa gelatinosa.

Chroococcus minutus, peu abondant.

Symploca elegans, thermalis.

Phormidium laminosum.

Mastigocladus laminosus, f. rameuses et non rameuses.

Cosmarium Meneghinii.

3° *Écoulement voisin du précédent.*

Les températures vont de 28 à 70°C. pH : 7,6.

Chroococcus cohaerens. Bréb.

— *membraninus.*

Gloeocapsa thermalis, peu abondant.

Symploca thermalis.

Calothrix thermalis.

Mastigocladus laminosus, f. rameuses et non rameuses.

Nostoc Linckia. Born.

Diatomées :

Denticula obtusa. W. Sm.

Nitzschia thermalis.

Cymatopleura sp.

4° *Écoulement d'eau chaude, à partir d'une canalisation.*

L'eau s'écoule le long des parois granitiques de la rivière le Ramantagou, avant de s'y jeter.

Températures : varient de 22 à 70°. pH : 7,6.

Symploca thermalis, elegans, muralis.

Calothrix thermalis.

Phormidium tenue.

Oscillatoria terebriformis, splendida.

Mastigocladus laminosus, f. variées.

Cosmarium Meneghinii.

Diatomées nombreuses :

Nitzschia thermalis, microcephala.

Denticula obtusa.

Cymatopleura sp.
Navicula lata.
Synedra actinastroïdes. Lemm.
Fragillaria mutabilis.
Diatoma anceps.

LIMITES SUPÉRIEURES DE LA VIE.

La température nous paraît être le facteur dominant .

En quelque endroit que nous ayons fait les observations, il ne nous a pas été permis d'observer d'organismes vivants au-delà de 65°C.

TOLÉRANCE DES DIFFÉRENTES ALGUES VIS-A-VIS DE LA TEMPÉRATURE.

Le *Mastigocladus laminosus* vit à la température la plus élevée : de 34 à 61°C.

Oscillatoria geminata est la plus thermotolérante : elle vit de 28 à 59°C.

Viennent ensuite :

Symploca thermalis : 35-58°.
Phormidium tenue : 34-58°.
 — *laminosum* : 36-58°.
 — *inundatum* : 36-58°.
 — *corium* : 37-58°.
Chroococcus minutus : 35-58°.
Gloeocapsa gelatinosa : 34-52°.
Oscillatoria formosa : 32-49°.
 — *princeps* : 36-48°.
Fischerella thermalis : 35-45°.
Scytonema mirabile : 34-42°.

Les Algues vertes ont une tolérance beaucoup plus faible, et leur maximum de température est beaucoup moins élevé.

Cosmarium Meneghinii, le plus fréquemment trouvé, l'a été de 34 à 38°C.

Cosmarium laeve monte à 37,5.

Stigeoclonium, *Scenedesmus quadricaudata*, *Chlorococcum humicolum*, *Protococcus viridis*, *Spirogyra*, *Mougeottia*, vont jusqu'à 34°, tandis que *Ulothrix tenerrima*, *Pleurococcus vulgaris* seulement à 32°C.

Signalons également la présence, de 34° à 40°C des proto-némas et des plantes feuillées des Mousses suivantes :

Eucladium verticillatum.
Gymnostomum calcareum.

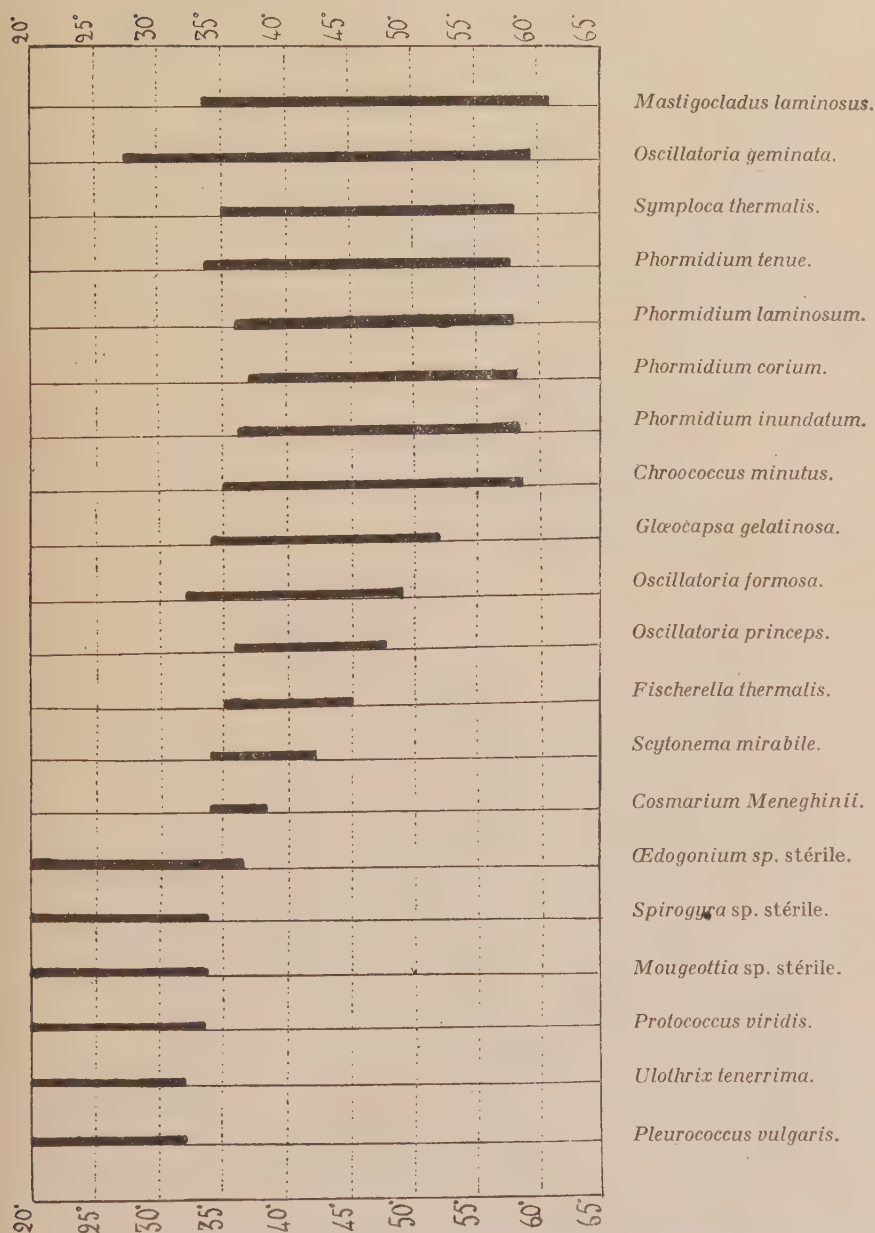


Fig. 15. — Tableau diagrammatique des zones de températures où vivent les principales Algues thermales, classées par températures supérieures décroissantes.

Elles vivent, soit dans la vapeur d'eau, soit dans des zones incomplètement immergées.

Le tableau ci-contre schématise ces constatations.

SEULES, PAR CONSÉQUENT, LES CYANOPHYCÉES ET LES DIATOMÉES CARACTÉRISENT LES EAUX THERMALES.

AU DELÀ DE 30°, NOUS N'AVONS TROUVÉ NI PLANTES SUPÉRIEURES, NI CHARACÉES.

Si, pour chacune des espèces les plus fréquemment citées, nous faisons la moyenne des températures observées, nous obtenons le tableau suivant :

Mastigocladus laminosus : 48° C.

Phormidium laminosum : 47°.

Symploca thermalis : 46° 5.

Phormidium tenue, *Oscillatoria geminata*, *Symploca elegans* : 45°.

Phormidium inundatum : 44°.

Oscillatoria formosa : 41°.

— *princeps*, *Chroococcus minutus* : 40°.

Scytonema mirabile : 36°.

Cosmarium Meneghinii : 36°.

LA TEMPÉRATURE ET LA RÉPARTITION DES ALGUES.

Espèces trouvées de 30 à 40°C dans 14 prélèvements :

Chroococcus varius, *minutus*, *minor*, *turgidus*, *coherens*.

Gomphosphaeria aponina.

Gloeocapsa gelatinosa, *polydermatica*, *dermochroa*, *compacta*, *thermalis*.

Gloetheca linearis, *rupestris*, *Grevillei*.

Aphanocapsa saxicola, *thermalis*.

Aphanotheca microspora, *Naegeli*, *bullosa*.

Merismopedia convoluta, *tenuissima*.

Symploca thermalis, *elegans*, *parietina*, *muralis*.

Oscillatoria geminata, *splendida*, *terebriformis*, *brevis*, *subtilissima*,

princeps, *formosa*, *tenuissima*, *sancta*, *amphibia*, *Cortiana*, *tenuis*.

Ljngbya perelegans, *lutea*, *Diguei*.

Phormidium tenue, *corium*, *inundatum*, *laminosum*, *fragile*, *Retzii*, *luridum*.

Fischerella thermalis.

Scytonema mirabile, *myochrous*.

Plectonema nostocorum.

Nostoc muscorum, *humifusum*, *Linckia*.

Calothrix thermalis.

Anabaena sp.

Cosmarium Meneghinii, *laeve*.

Pleurococcus vulgaris.

Chlorococcum humicola.

Protococcus viridis.

Ulothrix tenerrima.

Scenedesmus quadricaudata.

Stigeoclonium, *Edogonium*, *Spirogyra*, *Mougeottia*.

Soit 67 espèces.

— Espèces trouvées de 40 à 50°C dans 16 prélèvements :

Chroococcus minutus, minor turgidus.
Gloeocapsa gelatinosa.
Gleotheca linearis.
Aphanocapsa thermalis, pulchra, biformis.
Aphanotheca microspora, bullosa, pallida, Castagnei.
Symploca thermalis, elegans, dubia.
Mastigocladus laminosus.
Oscillatoria limnetica, geminata, chalybea, brevis, princeps, formosa, animalis, amphibia, neglecta, tenuis.
Lyngbya Diguetti, limnetica.
Phormidium tenue, Valderianum, corium, inundatum, laminosum, luridum, purpurascens, calidum, uncinatum.
Fischerella thermalis.
Scytonema mirabile.
Capsosira Brebissonii.
Calothrix thermalis.
Anabaena sp.

Soit 44 espèces.

— Espèces trouvées de 50 à 60°C dans 13 prélèvements :

Chroococcus minutus, minor, turgidus, membraninus.
Gloeocapsa gelatinosa.
Aphanotheca bullosa.
Symploca thermalis, elegans.
Mastigocladus laminosus.
Oscillatoria limnetica, geminata.
Phormidium tenue, Valderianum, corium, laminosum, inundatum, papyraceum.

Soit 18 espèces.

— Espèce trouvée au-dessous de 60°C :

Mastigocladus laminosus.

Peuvent être, par suite, considérées comme caractéristiques des eaux thermales, les espèces suivantes :

Chroococcus minutus, turgidus.
Gloeocapsa gelatinosa.
Symploca thermalis, elegans.
Oscillatoria geminata, princeps, formosa.
Lyngbya Diguetti.
Phormidium tenue, Valderianum, inundatum, laminosum.

Pour les eaux de 30 à 40°, nous pouvons ajouter *Cosmarium Menghinii*.

L'élévation de la température amène donc, parmi les organismes une véritable stratification.

ÉTUDE PARTICULIÈRE DE CHAUDESAIGUES

L'examen de cette station va nous montrer ce phénomène. L'eau chaude s'écoulant des fontaines ou des puits s'étale

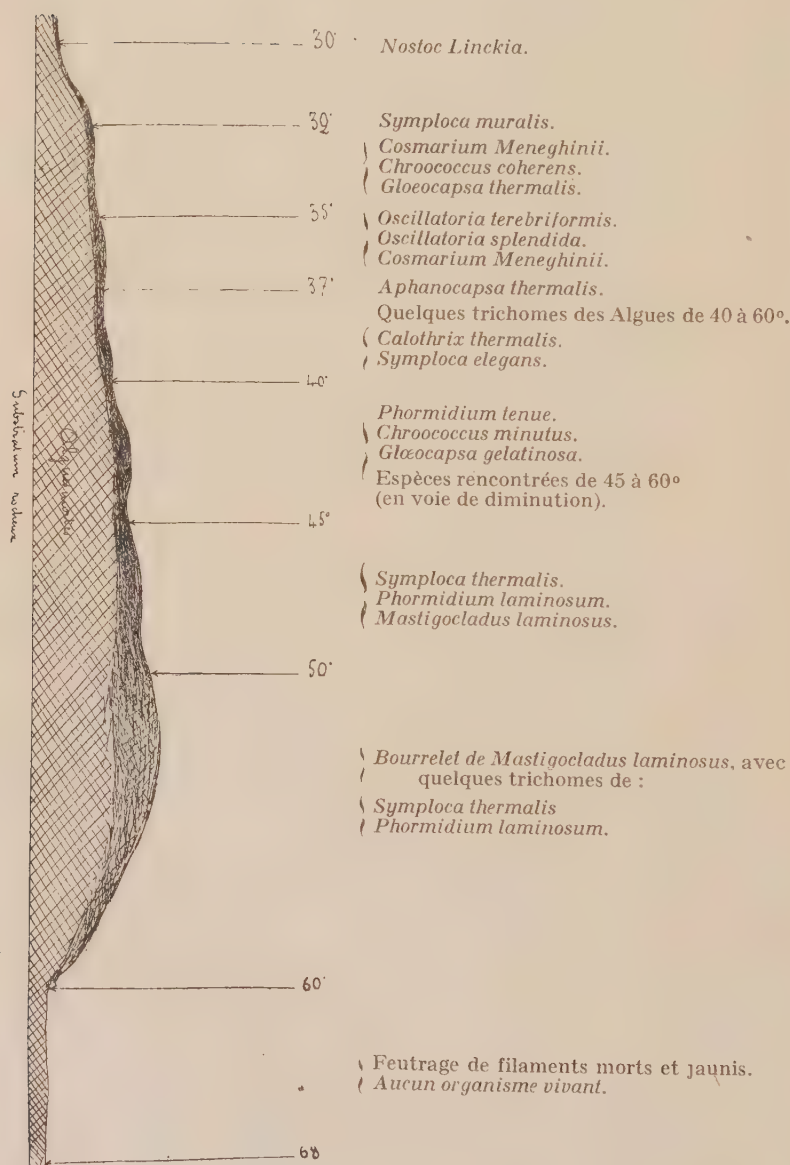


Fig. 16. — Coupe schématique et synthétique d'un bourrelet algal près d'une fontaine chaude de Chaudesaigues (Cantal).

sur la roche sous-jacente. A sa partie centrale, la température peut atteindre 70° et plus, à droite et à gauche, elle s'abaisse progressivement. Au centre, les Algues sont jaunes, flétries et manifestement mortes ; de chaque côté, s'échelonnent toute une série de zones de végétation active.

Partout où se trouve de l'eau, vivent les Algues thermotolérantes (*Mastigocylatus laminosus*, *Symploca thermalis*, *Phormidium lamposum*), formant, par leurs trichomes, une trame serrée, dont le maximum d'épaisseur est situé entre 45 et 55°.

Entre 40 et 45°, s'y ajoutent *Phormidium tenue*, *Chroococcus minutus*, *Gloeocapsa gelatinosa*. Puis apparaissent *Symploca elegans*, *Calothrix thermalis*, (tandis que les espèces précédentes diminuent).

De 37 à 35°, vivent surtout *Oscillatoria terebriiformis*, *splendida*, *Cosmarium Menghinii*. Apparaissent ensuite *Gloeocapsa thermalis*, *Chroococcus coherens*, puis *Nostoc Linckia*.

Au moment, où l'eau thermale se mélange avec celle de la rivière, toute végétation disparaît, ce qui montre que les Cyanophycées précédemment citées trouvaient un milieu à températures favorables.

La coupe ci-contre (fig. 16) condense toutes ces observations.

QUELQUES REMARQUES RELATIVES AUX DIATOMÉES.

Leur étude n'a pas été aussi poussée que celle des Cyanophycées : cela tient surtout au fait que leur présence ou leur absence paraissent liées directement à la nature chimique de l'eau et du substratum supportant la végétation.

Elles sont signalées surtout dans les eaux contenant de la silice et des silicates, ou s'écoulant sur une roche quartzreuse. Elles sont très nombreuses à Evaux (écoulement de la source Sainte Marie), à Thuès, Dax, Préchacq, et Chaudesaigues.

Les genres et espèces les plus fréquents sont les suivants :

Nitzschia thermalis.

Navicula rhynchocephala, *thermalis*, *oculata*, *elliptica*, *lata*, *Smithii*, *tuscula*, *ambigua*, *viridis*.

Surirella angusta, *ovata*.

Denticula tenuis, *obtusa*, *elegans*.

Epithemia zebra, *sorex*, *argus*.

Synedra ulna, *capitata*.

Achnantes exilis, *coarctata*.

Diploneis elliptica.

Meridion constricta.

Elles résistent fort bien à l'élévation de température et conservent leurs mouvements jusqu'à 60°.

Certaines espèces semblent préférer les températures assez hautes :

Denticula tenuis : de 42 à 58° C.

Epithemia zebra : de 49° à 60°.

Denticula elegans : de 42° à 60°.

Par contre *Nitzschia thermalis* préfère les températures moyennes : de 32 à 49°. De même, *Synedra ulna*.

Les autres espèces sont trop peu fréquemment signalées pour qu'on puisse tirer quelque conclusion valable sur leur mode de vie.

CONCLUSIONS

Ainsi donc, la lumière permet le développement d'une végétation plus ou moins abondante jusqu'à 65°C environ. Au dessus, rien de vivant ne persiste. La température, en s'élevant, effectue un triage des organismes, dont le nombre et la force peuvent être accrus par une radioactivité suffisante. Seules, un certain nombre de Cyanophycées et de Diatomées sont capables de subir de fortes variations thermiques, et, partant, de vivre et même prospérer dans le milieu thermal.

Observations relatives à la systématique et à la morphologie des espèces trouvées dans les précédentes sources. — Ce sont, en très grande majorité, des Cyanophycées, un certain nombre de Diatomées, et, vers les températures les plus faibles observées, des Chlorophycées.

Seules, les Algues bleues retiendront notre attention.

Nous y avons observé :

a) Un assez grand nombre de Chroococcacées : plus particulièrement les genres *Chroococcus*, *Aphanocapsa*, *Aphanotheca*, *Gloeocapsa* ;

b) Exceptionnellement des Chamæsiphonées ;

c) Rarement des Vaginariées ;

d) La prédominance très nette des Lyngbyées, surtout des genres *Symploca*, *Phormidium*, *Oscillatoria* ; *Symploca thermalis* est particulièrement abondant, tandis que *Phormidium laminosum*,

signalé partout comme caractéristique des eaux thermales, l'est beaucoup moins ;

e) Assez peu d'Hétérocystées, sauf *Scytonema mirabile*, quelques Nostocs, quelques Stigonémacées (*Capsosira Brebissonii*, *Fischerella thermalis*) et surtout *Mastigocladus laminosus*, particulièrement abondant et caractéristique.

Il y a une prédominance très marquée d'espèces de petite taille et, chez les Hormogonéales, une gélification fréquente et plus ou moins complète des gaines qui sont d'ailleurs peu développées et rarement colorées.

CHAPITRE IV

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES

Elles ont été poursuivies dans deux directions différentes:

1^o Détermination de l'optimum de température pour une espèce définie (*Mastigocladus laminosus*) et examen des formes en fonction des températures.

2^o Etude des échanges chimiques, pendant un certain temps, entre les Algues thermales et un milieu défini, par rapport à la température.

I. — Optimum de température et morphologie comparée du *Mastigocladus laminosus*.

Culture des Algues. — Dans un tube d'une trentaine de centimètres de haut et de 4 centimètres environ de diamètre, muni d'un col étroit, il a été mis 150 cc. d'eau de Chaudesaigues, provenant de l'endroit même où la récolte des Algues avait été faite. Ces tubes, munis d'un prolongement fermé par un tampon de coton serré et d'un capuchon de verre, furent ensuite stérilisés.

Il y fut introduit une petite quantité de *Mastigocladus laminosus* provenant d'une souche qui peut être considérée comme pure, observée à Chaudesaigues et récoltée vivante. Les tubes ainsi préparés furent à demi plongés dans des récipients contenant de l'eau maintenue à une température sensiblement constante (2^o environ de différence entre les températures extrêmes), par un procédé de chauffage et un procédé de circulation de liquides appropriés.

Environ deux fois par jour, les températures des bains-maries et, partant, celles des Algues, étaient relevées. Ce sont leurs moyennes que nous donnons.

Les conditions d'éclairage (appareils face à une fenêtre orientée à l'Est) étaient les mêmes dans tous les cas.

Résultats. — Ces cultures ont été suivies du 29 septembre au 25 novembre 1931, c'est à dire presque deux mois.

Températures. — Tube témoin : température du Laboratoire, soit sensiblement

N° 1.....	20°
N° 2.....	35°
N° 3.....	45°
N° 4	54°
N° 5.....	63°
	80°

Observations macroscopiques.

Tube témoin : les Algues n'ont aucunement végété ; elles ne se sont pas fixées aux parois, ont jauni, puis sont mortes.

Tube n° 1 : son contenu est resté vert, mais d'un vert pâle ; le morceauensemencé a proliféré, mais légèrement, sur les bords.

Tube n° 2 : la reprise de la végétation a été immédiate. L'Algue s'est facilement attachée au verre, et a formé dans l'eau de culture, à sa surface et sur les parois, un voile abondant vert foncé.

Tube n° 3 : extérieurement, une auréole verte de nouvelle végétation a entouré le fragmentensemencé, mais le développement en est faible et lent (quelques millimètres seulement).

Tubes 4 et 5 : dès les premiers jours de la mise en expérience, le contenu a immédiatement jauni et est mort.

Le minimum de température, compatible avec la vie du *Mastigocladus laminosus* est donc d'environ 35° ; l'optimum est compris entre 45 et 54°, soit 50° à peu près, et le maximum vers 55°. En ce qui concerne les températures de l'optimum et du maximum, elles sont identiques à celles rapportées par LÖWENSTEIN (64) et VOUK (105 d). Le nombre correspondant au minimum thermique confirme les recherches de ce dernier auteur.

Ces températures sont d'ailleurs un peu inférieures à celles trouvées dans la nature : cela tient sans doute aux différences de conditions, éclaircissement et surtout renouvellement du liquide ambiant.

Observations microscopiques

La description de l'espèce *Mastigocladus laminosus* a été donnée par BOYE PETERSEN (6) et FRÉMY (34 c).

BOYE PETERSEN (p. 307-311) en fait trois sous-espèces suivant la forme :

a) la forme *typica* : à « trichomes toruleux, formés le plus souvent d'une seule série de cellules, à rameaux dressés, unilatéraux, moitié moins épais que le filament principal » (FRÉMY, p. 458).

b) la forme *anabaenoides* ressemblant à des *Anabaena*.

c) la forme *phormidioïdes*, constituée d'une seule suite de cellules sans hétérocystes.

Ces formes ont été figurées par les deux auteurs, pour le premier p. 308, fig. 15, et pour le second p. 455, fig. 356.

BOYE PETERSEN ajoute (p. 310) : « I have not been able to prove any connection between the temp. and the form under which the Alga occurs. I presume the forms to be developmental stages, f. *phormidioïdes* being, f. *phormidioïdes* being the youngest, f. *typica* the oldest forme, but in case the conditions are unfavorable for its growth it remains presumably at its first stage of development ».

La souche présentait, lors de l'ensemencement, les trois formes précitées.

A 35°, seule la forme *phormidioïdes* a été observée sur les bords de la partie mise en culture : elle est d'ailleurs restée de petite taille.

A 45°, était prédominante la forme *typica* accompagnée de quelques formes *anabaenoides*, avec de grandes cellules soit dans le trichome lui même, soit dans les rameaux.

A 54°, la forme *typica* est rare, la forme *phormidioïdes* est de beaucoup la plus fréquente et sa taille est plus petite qu'à la précédente température.

La fig. 17 rassemble toutes ces constatations morphologiques.

La température agit donc sur le développement ainsi que sur ses formes. Il est entier vers 45°, pour demeurer aux premiers stades, à 35° et à 54°, comme le pensait BOYE PETERSEN. Les tailles sont différentes suivant les températures, avec un optimum vers 50° ; et cette variabilité justifie ce que pensait LAPEYRÈRE (54)

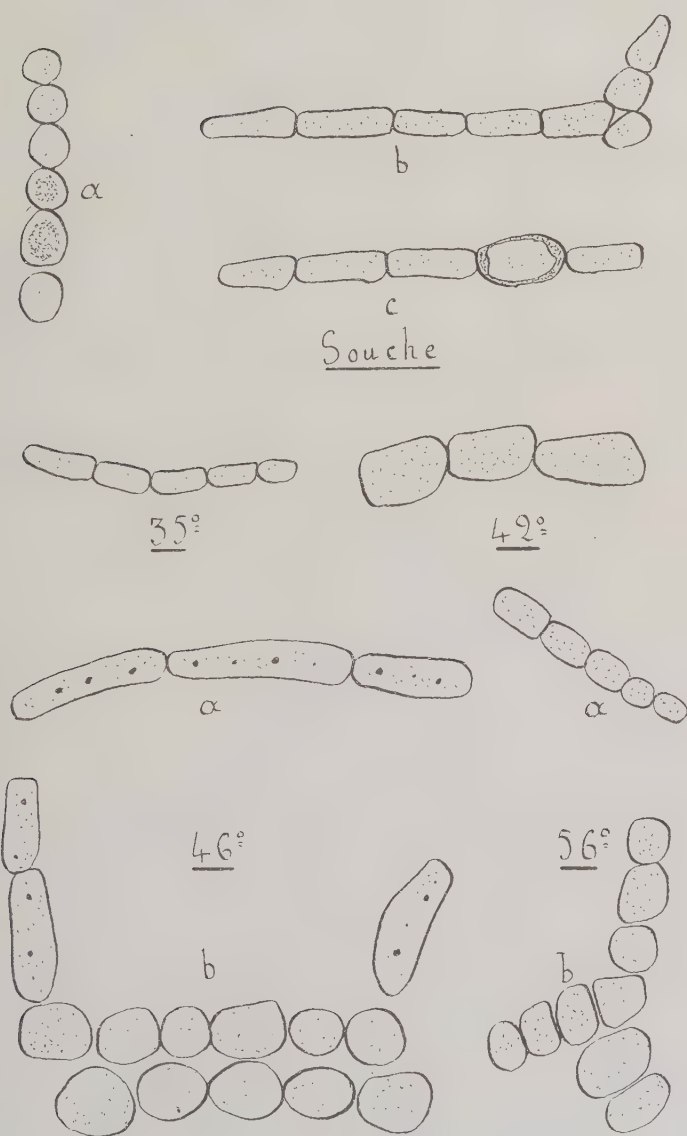


Fig. 17. — Formes et tailles du *Mastigocladus laminosus* suivant les températures. — Grossissement : 1.800.

à propos de l'*Hapalosiphon major* de TILDEN (98) : cette espèce doit être comprise dans l'espèce *Hapalosiphon laminosus*, dont elle ne présente qu'une variante due à l'action du milieu.

Une sorte de contre-épreuve a été faite.

A partir des Cyanophycées ayant poussé à 45° (tube n° 2) il a été procédé à une nouvelle série d'ensemencement aux températures suivantes : 32°, 37°, 46°, 56°.

A 32°, il n'y a pas de reprise végétative.

A 37°, une certaine reprise se manifeste et il y a formation de filaments.

A 46°, les Algues poussent fort bien et la forme typica est la plus fréquente.

A 56°, il apparaît en faible quantité surtout des formes filamenteuses.

Ces observations confirment donc exactement les précédentes.

Si nous comparons ces résultats aux déterminations faites dans la nature, il y a concordance presque parfaite : toutes les formes se trouvent entre 42° et 55° environ ; mais au-dessus de 55°, on ne trouve que des formes filamenteuses.

II. — Recherches sur le chimisme de quelques Algues thermales.

Le mode de culture a été presque identique au précédent, avec cette différence cependant que les tubes furent hermétiquement bouchés afin d'éviter une cause d'erreur due à l'évaporation, cause d'erreur qui aurait pu être considérable.

Milieu de culture. — Le milieu étudié a été obtenu à partir de l'eau de Chaudesaigues, enrichie d'un centième de molécule de chlorure de sodium par litre.

Tous les dix jours environ, 20 cc. de cette solution étaient prélevés. La moitié de cette quantité servait à doser le chlore, l'autre à doser le sodium. Ces 20 cc. étaient remplacés par vingt autres, obtenus en diluant ou en concentrant, suivant le cas, le liquide nutritif primitif, d'après un coefficient déterminé à la suite du dosage du métal.

Comme dans ce cas, le chlore n'est pas absorbé, il n'y a donc aucune cause d'erreur pour le dosage du sodium.

Dans chaque tube, ont été introduits :

1° 150 cc. du milieu préparé.

2° 25 gr. d'Algues thermales bien vigoureuses, pesées fraîches.

Ce n'est donc pas le chimisme d'une espèce d'Algues déterminées que nous étudions, mais celui d'une sorte de complexe thermal riche surtout en *Mastigocladus laminosus*, duquel nous donnerons une analyse microscopique sommaire au cours de ce travail.

Méthode de dosage. — La méthode a été exactement celle utilisée dans les recherches portant sur le milieu au chlorure de sodium dans le cas de *Pisum sativum*.

Résultats :

Sodium. — Tableau 52. Graphique 51.

TABLEAU LII

Liquueur témoin { Na : 4 mmg 940 pour 10 cc.
Cl : 4 mmg 150 pour 10 cc.

TEMP.	13 JOURS		23 JOURS		33 JOURS		44 JOURS		55 JOURS	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
67°	5,018	+ 0,078	4,940	0	4,940	0	4,940	0	4,940	0
50°	5,106	+ 0,166	5,057	+ 0,117	4,979	+ 0,039	4,979	+ 0,039	5,056	+ 0,116
43°	4,862	— 0,078	4,668	— 0,272	4,590	— 0,350	4,473	— 0,467	4,326	— 0,584
32°	4,550	— 0,390	4,784	— 0,156	4,823	— 0,117	4,901	— 0,039	4,901	— 0,039
20°	4,607	— 0,233	4,668	— 0,272	4,590	— 0,350	4,630	— 0,310	4,668	— 0,272

I : Quantités dosées.

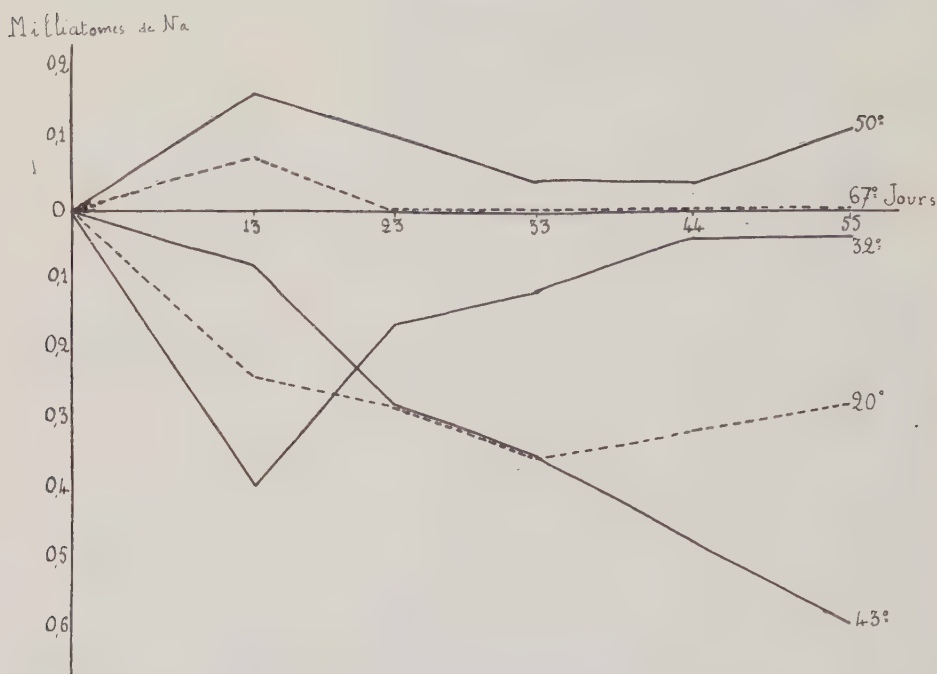
II : Différences avec la liquueur témoin.

Chlore. — Les chiffres des dosages, qu'il n'est pas nécessaire de rapporter, indiquent qu'il n'y a absolument aucun mouvement de chlore décelable.

Les résultats que nous avons donnés sont donc seulement valables pour un mélange d'organismes thermaux, ainsi que nous l'avons déjà dit.

Le maximum de végétation a été, comme dans le milieu ordinaire, à la température de 43°.

Graphique 51.



Graphique représentant, aux diverses températures, les quantités de sodium (venant de l'eau de Chaudesaigues + NaCl à $\frac{M}{100}$) absorbées par les Algues thermales.

Erratum : lire milligrammes au lieu de milliatomes.

En ce qui concerne le cation Na, les températures se divisent en deux groupes : 20°, 32°, 43° et 50°, 67°.

A 20°, après une fixation régulière jusqu'au 33^e jour, survient une diminution. Cette diminution est liée non seulement à un arrêt de la végétation, mais aussi au mauvais état progressif des Algues. Leur étude au microscope montre que celles qui y ont végété sont surtout des Oscillariées et des Chroococcacées, c'est à dire des Cyanophycées s'accommodant relativement mieux des basses températures que des températures plus élevées. Cette souche particulière provenait d'ailleurs du même gisement que les autres, mais des bords du bourrelet algal. Toutes les autres Alguesensemencées provenaient de régions beaucoup plus chaudes : la quantité,

par emplacement, est en effet assez faible, et il nous fut impossible, au même endroit, d'y récolter 200 g. de végétaux homogènes. Ces différences expliquent les constatations que nous venons de faire.

A 32°, après une fixation intense, la culture s'arrête et, peu à peu, rétrocede au milieu le sodium fixé. Elle n'est manifestement pas dans des conditions de température favorables. Nous y avons trouvé, dans les faibles formations nouvelles, surtout du *Phormidium tenue*, un peu de *Symploca thermalis* et quelques filaments souffreteux et étroits de *Mastigocladus laminosus*.

A 43°, le développement est régulier et continu, comme régulière et continue est la fixation du sodium : la Cyanophycée prédominante est le *Mastigocladus laminosus*, avec les mêmes caractéristiques de formes que celles révélées par l'étude précédente.

A 50°, le phénomène chimique change de sens et montre une perte du métal au bénéfice du milieu, suivie d'une légère fixation. Les Algues meurent lentement, et comme toujours en pareil cas, les modifications apportées aux propriétés des membranes et à celles des colloïdes cellulaires renversent le sens des échanges. C'est la température prémortelle pour ces plantes ; elle a des effets légèrement différents de ceux d'une température franchement mortelle, comme 67°, où après une perte de sodium, il y a adsorption intégrale de la quantité ainsi cédée. Les différences de conditions de vie suffisent à expliquer que ces Algues, dans la nature, ne meurent pas à 50°, mais y végètent fort bien.

III. — Conclusions.

La température de 43° est donc un optimum pour ces Algues : optimum de formes, du nombre des individus et de l'importance des échanges chimiques.

A 32°, les Cyanophycées thermales présentent des phénomènes assez semblables à ceux qui ont été observés chez le Pois à 35°, du moins en ce qui concerne le sodium, mais pour des raisons contraires. Dans les deux cas, après une absorption du métal, il y a eu ensuite un lent retour de ce qui avait été absorbé dans le milieu ambiant.

Les conditions mauvaises amènent chez les deux sortes de végétaux, les plantes aquatiques thermales et une plante terrestre tempérée, sensiblement les mêmes réactions. L'excès de chaleur ou son insuffisance causent la même lente agonie avec les mêmes phénomènes l'accompagnant

CHAPITRE V

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

L'étude systématique de la flore thermale nous a permis de constater qu'un certain nombre d'Algues vivaient dans des limites de température fort larges, mais dont le maximum ne dépasse jamais 65°. Ce nombre de végétaux est d'ailleurs restreint, et ce sont, dans toutes les stations, à quelques détails près, sensiblement les mêmes espèces. Les recherches d'autres auteurs français, et surtout étrangers, montrent le remarquable cosmopolitisme de ces Cyanophycées, tel que peu de plantes peuvent en présenter d'identique : cela prouve, d'une manière irréfutable, que leur habitat est uniquement sous la dépendance de la température.

L'étude expérimentale du *Mastigocladus laminosus*, plus particulièrement, montre que cette plante est exclusivement adaptée à ces conditions spéciales de vie, que la zone s'étendant de 42° à 50°, est une zone de plein épanouissement pour elle, ce qui se traduit par une plus grande taille, une plus grande variété de formes et un optimum d'échanges chimiques avec le milieu.

En résumé, les phénomènes sont du même ordre pour les plantes supérieures et pour les plantes inférieures thermales, mais les températures cruciales sont décalées, pour les dernières, d'une vingtaine de degrés au-dessus des températures cruciales des premières.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS D'ENSEMBLE

Le caractère essentiellement analytique de ce travail rend difficile, sinon impossible, l'établissement d'une conclusion ramenant à une action simple de la chaleur tous les faits observés. Comme nous l'avons déjà dit et répété, cette action est complexe, à la fois physique, chimique et physico-chimique. La chaleur agit d'abord en tant qu'agent physique; elle agit aussi sur les constituants du végétal et intervient dans leurs relations réciproques et dans les relations avec le milieu. Ce sont quelques uns des aspects de cette question que nous nous sommes efforcés de mettre en relief.

Nous rappellerons donc les principaux résultats auxquels nous sommes parvenus, en leur donnant une forme aussi claire et aussi précise que possible.

1° Le Pois, cultivé dans des conditions aseptiques, ne germe pas au delà de 35° et végète de moins en moins bien de 29 à 36°. Il acquiert d'ailleurs à ces températures des formes extérieures tourmentées et aberrantes.

2° Les constituants cellulaires changent de formes et de propriétés physiques et chimiques.

Les mitochondries se vésiculisent, se fragmentent et se séparent vers 60° en lipoides et protéines.

Le vacuome diminue de volume, mais, d'une façon discontinue au moins jusqu'à 45°, avec des augmentations et des diminutions successives.

Le cytoplasme a une fluidité croissante jusque vers 45° également, fluidité qui diminue brusquement et considérablement ensuite, bien que sa coagulation visible au fond noir ne se produise que plus tard, vers 65-70°.

La cause possible de ces variations peut être trouvée dans les changements survenant surtout dans les graisses et lipoides de constitution du protoplasme.

Aucune mitose n'a lieu au delà de 36°, et la température modifie énormément, dans le sens d'une diminution de l'individualisation, la forme, la taille et la répartition des chromosomes, ainsi que le noyau au repos et le nucléole.

3° Les changements d'ordre cytologique s'accompagnent de profondes modifications des échanges chimiques. A 35°, il n'y a plus, en ce qui concerne les sels courants de potassium et d'ammonium, absorption régulière des ions, mais au contraire une cession au milieu extérieur des corps venant de la plante, c'est-à-dire un changement complet du sens de la perméabilité.

Les deux précédentes séries de modifications (2° et 3°) expliquent facilement la non-germination et la non-végétation des plantes étudiées au-delà de 35°.

L'élévation de la température nous a, dans une certaine mesure, servi de moyen d'investigation interne. Elle nous a permis de montrer que les substances protéiques du Pois circulaient, après dégradation dans la plante sous des formes ammoniacales et nitriques, et que l'ion NH^4 et l'ion NO^3 favorisaient par leur présence l'apparition des formes chimiques qui leur correspondaient.

4° Les Algues thermales, bien qu'ayant une latitude thermique constante bien plus considérable que la très grande majorité des plantes, se comportent cependant, dans leurs limites particulières de températures, comme les autres végétaux, tant au point de vue de leurs formes que de leur chimisme.

Cela montre la remarquable unité de la matière vivante, attestée par des réactions identiques dans des conditions similaires.

Cela montre également que la température, agissant sur tout ce qui entre dans la composition d'une plante et sur toutes ses fonctions vitales, peut amener, à quelque degré de l'échelle que ce soit, des modifications morphologiques, probablement liées à l'état physique, à l'état chimique des substances constitutives et aux échanges du végétal avec le milieu extérieur.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 ALLORGE (P.). — La Biologie des eaux thermales. Leçons faites au Muséum d'Histoire naturelle de Paris. 1928-29.
- 2 BELEHRADEK (J.). a). — La viscosité du protoplasme vivant et ses rapports avec l'activité et le vieillissement cellulaires. Publ. Fac. Med. Brno. Vol. 3, 1924-1925, p. 1.
b) Protoplasmic viscosity as determined by a temperature coefficient of biological reaction. *Nature*, Vol. 48, 1926, p. 478.
c) Détermination de la viscosité protoplasmique au moyen d'un coefficient thermique. *C. R. Soc. Biol.* Vol. 96, 1927, p. 1423.
- 3 BLANCHARD (E.). — Contribution à l'étude des équilibres physico-chimiques chez quelques plantes agricoles. *Thèse pour le grade d'Ingénieur-Docteur*. Paris, 1932.
- 4 BORNET (E.) et FLAHAULT (C). — Révision des Nostococcacées hétérocystées. *Ann. Sc. nat.*, T. III, T. IV, T. V, 1886-1888.
- 5 BORY DE SAINT-VINCENT. — Essai monographique sur les Oscillaires. *Dict. clas. Hist. nat.*, T. XII, p. 157. Paris 1827.
- 6 BOYE-PETERSEN (J.). — The Fresch-Water Algae (Cyanophycées) of Iceland. *The Botany of Iceland*. Vol. II, Copenhagen 1923 p. 251-324.
- 7 BREWER (W. H.). — Observations of the presence of living Species in hot and salt Waters in Californie. *Am. Journ. Sc.* T. XLI, p. 391-394, 1866.
- 8 CHATRON (M.). — Étude de deux microméthodes de dosages de l'ion SO_4 . Application au dosage du S. sanguin. *Thèse Faculté de Pharmacie de Paris*. N° 27, 1929-1930, p. 68-69.
- 9 CLUZET et NOGIER. — Analyses physiques des eaux d'Évaux. *Lab. phys. méd. Lyon*. 1914.
- 10 COMÈRE (J.). — Algues des eaux sulfurées des Graüs-d'Olette. *Bull. Soc. Pharm. du S. W.*, p. 69-77, 1894.
- 11 COMBES (R.). — Recherches biochimiques expérimentales sur le rôle physiologique des glucosides des végétaux. *Rev. Gén. Bot.* 30. 1918, p. 236-237.
- 12 COPAUX (H.). — Procédé rapide pour doser l'acide phosphorique. *C. R. Ac. Sc. T.* 173, 1921, p. 656.
- 13 COWDRY (N.-H.). — Experimental Studies on mitochondria plants. *Biol. Bull.* T. 33, 1917, p. 220.
- 14 CRÉPIN (A.). — Influence de l'acidité sur la nutrition minérale du « *Sterigmatocystis nigra* ». *Thèse Fac.* Paris 1932.

- 15 CZAPEK (F.). — Biochemie der Pflanzen. Bd. II, Fischer, 1913.
- 16 DEHERAIN (P.). — *Traité de chimie agricole*, 2^e éd. Paris, 1902.
- 17 DELF (E. M.). — Studies of protoplasm permeability by measurement of rate of shrinkage of turgid tissue I The influence of temperature on the permeability of protoplasm. *Ann. of Botany*, T. 30, 1916, p. 283-310.
- 18 DENIGES (G.), CHELLE (L.), LABAT (A.). — *Précis de chimie analytique*. Maloine, éd. 1930.
- 19 DERUAZ (G.) et BAUMAN (A.). — Action de la température sur les cellules ciliées des Batraciens. *C. R. Soc. Biol.* T. CXI, 1933, p. 948-949.
- 20 DEVAUX (H.). — L'injection des lacunes, signe de la mort chez les plantes aquatiques. *Rev. Gén. Bot.* V, 36, 1924, p. 99, 107.
- 21 DUFRÉNOY (J.). — a) Influence de la température sur la flore des eaux de Luchon. *C. R. Sc. Ac. T. CLXXII*, 1921, p. 612.
b) Les Sulfuraires, les Barégines et les Ferro-Bactéries de quelques eaux thermales. *Ann. Soc. Hydr.*, 1923-24.
- 22 DUFRÉNOY et MOLINÉRY. — a) Etudes biologiques sur les eaux de Luchon. *Ann. Soc. Hydr.*, 1921.
b) Transformations biochimiques des composés sulfurés des eaux de Luchon. *Ann. Soc. Hydr.*, 1923-24.
- 23 DUTROCHET (H.). — Les Oscillariées des eaux thermales. *C. R. Ac. Sc.*, vol. I. 1835.
b) Observations sur le *Chara fragilis* par MM. Dutrochet et Becquerel. Modifications dans la circulation de cette plante sous l'influence d'un changement de température. *C. R. Ac. Sc.*, vol. V, 1837, p. 775.
- 24 ECHEVIN (R.). — L'azote, le phosphore et le soufre chez les plantes ligneuses à feuilles caduques. *Rev. gén. de Botanique*. T. 43, 1931, pp. 517-677.
- 25 EICHORN (A.). — Recherches caryologiques comparées chez les Angiospermes et les Gymnospermes. *Archives de Bot.* T. V, mémoire n° 2, 1931.
- 26 EHRENBERG (C. G.). — Étude sur les sources d'Ischia. *Monatber. d. Akad. d. Wiss.* Berlin, p. 493-1.858.
- 27 ELENKIN (A. A.). — Des groupements thermophiles d'Algues (en russe, avec résumé allemand). *Bull. Jard. Bot. Imp. Pierre le Grand*, 1914. St-Petersbourg.
- 28 ENGELMAN (Ph. W.). — Zur Theorie der Kontractilität. *Sitzungsber. d. Kgl. preuss. Akad. d. Wissenschaften* 1906, p. 694.
- 29 EPHRUSSI (B.). — Contribution à l'analyse des premiers stades du développement de l'œuf. Action de la température. *Thèse Fac. Sc. Paris*, 1932.
- 30 EWART (A.-J.). — On the physics and physiology of protoplasmic streaming in plants. Oxford, 1903.
- 31 FAMIN (A.). — a) Action de la température sur le *Rhizopus nigricans* Dipl. Et. Sup. Fac. Sc. Paris, 1928.
b) L'action de la température sur le chondriome de quelques cellules végétales. *C. R. Soc. Biol.* T. 106, 1931, p. 1.208.

- c) Action de la température sur le noyau et la caryocinèse chez *Vicia Faba*. *C. R. Ac. Sc. T.* 193. 1931 p. 745.
- d) Contribution à l'étude systématique et biologique de la flore thermale française. *Trav. Crypt. Mangin* 1931, p. 71-83.
- 32 FAURE-FREMIET (E.). — La cinétique du développement. *Presses Universitaires*, Paris, 1924.
- 33 FLOURENS. — Note sur les Conferves des eaux chaudes d'Islande. *C. R. Ac. Sc. Vol. XXIII*, 1847, p. 934.
- 34 FRÉMY (P.) — a) Les Scytonémacées de la France. *Flore algologique de France*. 1927, et *Revue algologique T. III* et *II*. 1925, 1926.
b) Les Stigonémacées de France. *Id.*, T. IV, 1930.
c) Les Myxophycées de l'Afrique équatoriale française. *Archives de Botanique* 1930, 507 p.
- 35 GEORGEVITSCH (P. M.). — Uber den Einfluss von extremen Temperaturen auf die Zellen der Wurzelspitze von *Galtonia Candicans*. *Beihefte bot. Centralbl. Bd. 25*, 1910, p. 127-136.
- 36 GOMONT (M.). — Monographie des Oscillaires. *Ann. Sc. nat.*, T. XV et XVI, 1892.
- 37 GUILLIERMOND (A.). — a) Observations vitales sur le Chondriome de la fleur de Tulipe. *C. R. Ac. Sc. T. CLXIV*, 1917, p. 407.
b) Nouvelles recherches sur les caractères vitaux et les altérations du chondriome dans les cellules épidermiques des fleurs. *Mém. Soc. Biol. T. LXXX*, 1917, p. 644-650.
c) Recherches ultramicroscopiques sur les cellules végétales. *Rev. gén. Bot. T. 42*, 1930.
- 38 GUILLIERMOND (A.), MANGENOT (G.), et PLANTEFOL (L.). — *Traité de cytologie*, Lefrançois, éd. Paris 1932.
- 39 HANSTEEN-CRANNER (B.). — Zur Biochemie und Physiologie der Grenzsichtenlebender Pflanzenzellen. *Meldinger fra Norges Landsbruckhoiskole. Vol. 2*, 1922, p. 1.
- 40 HARTMANN (O.). — Uber dem Einfluss der Temperature auf Plasma, Kern, und Nucleolus und cytologische Gleichgewichtszustände (Zellphysiologische Experimente an Pflanzen). *Arch. f. Zellforsch. Bd. 15*, 1919, p. 177-248.
- 41 HEILBORN (O.). — Temperature und chromosomen Konjugation *Svensk. Bot. Tidskrift. Bd 24*, 1930, p. 12-25.
- 42 HEILBRUNN (L.-V.). — Protoplasma Monographien V. I. The colloïd Chemistry of Protoplasme. *Bornträger* 1928.
- 43 HENRI (V.), LALOU, MAYER (A.) et STÖDEL. — Sur les phénomènes qui précèdent la précipitation des colloïdes par les électrolytes. *C. R. Soc. Biol. T. LVIII* 1903, p. 1.668.
- 44 HOAGLAND (D. K.). — The Relation of the Plant to the Reaction of the nutrient Solution. *Science T. LVIII* 1918, p. 422-425.
- 45 HOFMEISTER (W.). — a) Uber die Mechanik der Bewegungen des Protoplasmas. Ein Vortrag an der botanischen Sektion der Versammlung deutscher Naturforscher im Herbst 1864 zu Gressen. *Flora*. 1865, p. 11.
b) Die Lehre von Pflanzenzelle. *Handb. et phys. Bot. Bd I* Leipzig 1867.

- 46 HOPPE-SEYLER. — Uber die obere Temperaturgrenze des Lebens. Arch. f. d. Ges. Phys. II. 1875, pp. 113-121.
- 47 JACQUOT et WILLM. — Les eaux minérales françaises. Baudry éd., Paris, 1894, 602 p.
- 48 JADIN (F.) et ASTRUC (A.). — *Traité d'hydrologie et de géologie*. Maloine, éd. Paris. 1920, 555 p.
- 49 JOHNSON (H. V.). — The Absorption of Ions by living and dead Roots. Amer. Journ. Bot. II, 1915 p. 250-254.
- 50 JÜRGENSEN (T.). — Uber die in den Zellen den *Vallisneria spiralis* stattfindenden Bewegungserscheinungen Stud. d. physiol. Inst. Breslau, Vol. I, 1861, p. 87.
- 51 KANITZ (A.). — Temperatur und Lebensvorgänge Berlin 1915.
- 52 KÖPPEN (W.). — Warme und Pflanzenwachstum. Bull. Soc. Imp. des Naturalistes de Moscou T. XXVII-2-1870, p. 41.
- 53 LAMBERS (H. R.). — a) The influence of temperature on protoplasmic Streaming of Characeae. Proc. Koning. Akad. Wetenschappen. Amsterdam. Vol. 28, n° 3, 1925.
b) Temperatuur en Protoplasmastraoming (Dutch). Thesis. Utrecht. Amsterdam. 1926.
- 54 LAPEYRÈRE (E.). — Algues récoltées dans l'eau et dans la boue thermale de l'Établissement des Baignots. Bull. Soc. Borda. 1^{er} tr., Dax 1921.
- 55 LAPICQUE (L.). — Paillettes scintillantes dans le protoplasme des Spirogyres. C. R. Soc. Biol. T. LXXXVI, 1922. p. 586.
- 56 DE LAURES et BECQUEREL. — Mémoire sur les Conferves des eaux thermales de Nérès. Ann. Soc. Hydr., vol. I Paris 1854-1855. page 204-205.
- 57 LÉCONTE DU NOUY. — Recherches sur la température critique du sérum. Mesure du facteur de dépolarisation. Mécanisme de la coagulation par la chaleur (4^e mémoire). Ann. Inst. Pasteur. T. XLV, 1930, p. 251-259.
- 58 LEITCH (L.). — Some experiments on the Influence of Temperature on the Rate of Growth in *Pisum sativum*. Ann. of Botany. T. 30 1916, p. 25 et suiv.
- 59 LEPAPE. — a) Études sur les eaux de Thuès (P.-O.). C. R. A. S., 1922.
b) Les données numériques actuelles sur la radioactivité des sources thermales françaises. Ann. Inst. Hydr. et Clim. Janv. 1924.
c) Etudes de radioactivité sur les eaux de Dax. Journ. méd. de Dax., nov., 1929.
- 60 LEPESCHKIN (W. W.). — a) Zur Kenntnis der Einwirkung supramaximaler Temperatur auf die Pflanze. Ber. d. deuts. Bot. Ges. Vol. 30, 1912, p. 703.
b) The constancy of the living substance (Experiments made in Spirogyra) Studies from the Plant Physiological Laboratory of Charles University Prague Vol. 1, 1923, p. 5.
- 61 LEULIER, VELLUZ et GRIFFON. — Sur le microdosage du potassium sous forme de cobaltinitrite. Bull. Soc. Chimie Biol. T. X, 1928, p. 691.

- 62 DE LITARDIÈRE (R.). — Les diverses étapes de l'« agonie » des noyaux sous l'influence d'une température élevée. *C. R. Soc. Biol. T. XCII*, 1925, p. 796.
- 63 LOEB (J.). — a) La dynamique des phénomènes de la vie. Trad. Daudin et Schoeffer, Paris, 1908.
b) Is the antagonistic action of salts due to oppositely charged ions ? *J. Biol. Chem. T. XIX*, 1913, p. 355.
- 64 LÖWENSTEIN (A.). — Über die Temperaturgrenzen des Lebens bei des thermalalge *Mastigocladus laminosus* Cohn Ber. d. deutsche bot. Ges. XXI, 1903, p. 17.
- 65 LUNDEGARDH (H.). — a) Über Kernteilung in den Wurzelspitzen von *Allium Cepa* und *Vicia Faba*. *Svensk. bot. Tidskrift. Vol. 4*, 1910, p. 174-196.
b) Zur Mechanik der Kernteilung, *Svensk. bot. Tidskrift. Vol. 8*, 1910, p. 167 et suiv.
- 66 MAZÉ (P.) MAZÉ (P.-J.) et Mme ANXIONNAZ (R.). — Recherches sur la fonction d'absorption chez les Racines de Maïs. *R. Soc. Biol. T. CXII n° 9*, 1933, p. 852-853.
- 67 MEYER (A.). — Morphologische und physiologische Analyse der Zelle der Pflanzen und Tiere. Bd II. Fischer 1921.
- 68 MILOVIDOV (P.-F.). — a) Sur la constitution chimique des chondriosomes et des plastes chez les végétaux. *C. R. Ac. Sc. T. CLXXXVII*, p. 140. 1928.
b) Einfluss von Wasser hoher Temperatur auf den Kern der Pflanzenzellen im Lichte der Nukléabreaktion (Beitrag zur physikalischen Chemie des Zellkernes) *Protoplasma. bd. XVII*, Heft 1, 1932.
- 69 MOLISCH (H.). — Pflanzenbiologie in Japan, p. 65-105, Iéna 1926.
- 70 MOLLIARD (M.). — a) Action morphogénique de quelques substances organiques sur les végétaux supérieurs. *Rev. gén. Bot. T. 19*, 1907 p. 243.
b) Comment agissent les températures élevées sur le développement des cellules. *C. R. Ac. Sc. T. CLXXX* p. 1.460.
c) Nutrition de la plante : T. I., Echanges d'eau et de substances minérales. Doin, éd. 1927.
- 71 NÄGELI (C.). — a) Pflanzen physiologische Untersuchungen von Nägeli et Cramer. Heft I, 1855, Zurich, p. 3.
b) Beiträge zur wissenschaftlichen Botanik. Heft II Leipzig 1860, p. 10 et 84.
- 72 NÄGELI (C.) und SCHWENDENER. — Das Mikroskop. Leipzig 1867-1877.
- 73 NIKLEWSKI (Br.), KRAUSE (A.) und LEMANCZYK (K.). — Zur Kenntnis der Aufnahmemechanik der Mineralbestandteile durch die Wurzeln die Pflanze. *Jahrb. f. wiss. Bot. T. 69*, 1928, p. 101-118.
- 74 OSTERHOUT (W. J. V.). — a) The Measurement of antagonism. *Bot. Gaz. 58*, 1914, p. 272.
b) On the importance of physiologically balanced solution for plants.
I. Marine Plants *Bot. Gaz. T. 42*, 1906, p. 127.

- II. Fresch-Water and terrestrial plants Bot. Gaz. T. 44, 1907, p. 259.
- c) The permeability of living cells in pure and balanced solutions. *Science*. T. 34, 1911.
- d) The permeability of protoplasme to ions and the Theorie of antagonism. *Sciences* T. 35, 1912.
- 75 PANTANELLI (E.) et SELLA (M.). — a) Assortimento elettivo di ioni nelle radici. Atti Acc. Liné Roma, T. 18, 1909, p. 481-488.
- b) Über Ionenaufnahme. Jahrb. f. wiss. Bot. T. 56, 1915, p. 689-733.
- c) Über Ionenaufnahme. Protoplasma, T. VII, 1929, p. 129-137.
- 76 PETRIE (A.K.H.). — The effect of temperature of the unequal intake of the ions of rates by plants. The Australian Journ. of Exp. Biol. and Med. Sciences, Vol. IV, part. 3, 1927, p. 169.
- 77 PFEFFER (W.). — Über Aufnahme von Anilinfarben in die lebende Zellen. Unters. and Bot. Inst. zu Tübingen T. II, 1886, p. 179-332.
- 78 PIERY et MILHAUD. — Les eaux minérales radioactives. Paris. Doin 1924.
- 79 PIRSCHLE (K.). — Nitrate und Ammonsalze als Stickstoffquellen für höhere Pflanzen bei konstanter Wasserstoffionen Koncentration. Planta. Arch. f. wiss. Botanik T. 14, 1931, p. 83 et 676.
- 80 PIRSCHLE (K.) und MENGDEHL (H.). — Ionenaufnahme aus Salzlösungen durch die höhere Pflanzen. Jahrb. f. wiss. Bot. T. 74, 1931, p. 297-363.
- 81 POLICARD (A.). — Sensibilité des mitochondries à la chaleur. C. R. Soc. Biol. T. 72, 1912, p. 228.
- 82 POLICARD (A.) et MANGENOT (G.). — Action de la température sur le chondriome cellulaire. C. R. Ac. Sc. T. 174, 1922, p. 645.
- 83 PRILLIEUX (E.). — Altération produite dans les plantes par la culture dans un sol surchauffé. Ann. Sc. nat. Botanique, 6^e série, 1879, p. 347-359.
- 84 REDFERN (M.-G.). — On the course of Absorption and the Position of Equilibrium in the Intake of Dyes by Discs of Plant Tissue. Ann. of Bot. T. XXXVI, 1924, p. 511.
- 85 ROMIJN. — Über den Einfluss der Temperatur auf die Protoplasmaströmung bei *Nitella flexilis*. Koninkl. Akad. von Wetenschap. te Amsterdam. Proceedings. Vol. XXXIV. N^o 2. 1931.
- 86 SABLINE (W.-K.). — L'influence des agents externes sur la division des noyaux dans la racine de *Vicia Faba*. Rev. Gén. Bot. 1903, T. 15, pp. 481-487.
- 87 SACHS (J.). — Physiologische Untersuchungen über die Abhängigkeit der Keimung von der Temperatur. Jahrb. für wiss. Bot. T. II, Bd. I 1860, p. 56 et 352.
88. SAKAMURA (T.). — Experimentelle Studien über die Zell- und Kernteilung mit besonderer Rücksicht auf Form, Grösse und Zahl der Chromosomen. Journ. Coll. of Sc. Imp. Univ. Tokio, vol. 39, 1920, 221 pages.

- 89 SCHRAMMEN (F.-R.). — Über die Einwirkung von Temperaturen auf die Zellen des Vegetationspunktes der Sprosses von *Vicia Faba* (Diss. Bonn). Verh. Nat. Ver. preuss. Rheinl. und West. Bd 59, 1902, p. 49-98.
- 90 SCHULTZE (M.). — Das Protoplasma der Rhizopoden und der Pflanzenzellen. Ein Beitrag zur Theorie der Zelle. Leipzig 1863, p. 64.
- 91 DE SECONDAT. — Observations de physique et de chimie sur les eaux chaudes de Dax. Acad. Bordeaux, 1742.
- 92 SERRES (H.). — Note sur l'Anabæna de la Fontaine chaude de Dax. Bull. Soc. Borda de Dax. 1880.
- 93 SHARP (W.-L.). — Somatic chromosomes in *Vicia*. La Cellule, T. 29, 1913, p. 295-330.
- 94 SOUBEIRAN. — Essai sur la matière organisée des sources sulfureuses des Pyrénées. Journ. Pharm., 1858-59.
- 95 STILES (W.) et JORGENSEN (I.). — Studies in Permeability II The effect of Temperature on the Permeability of Plant cells to the Hydrogène Ion. Ann. of Bot. T. 29, 1915, p. 611.
- 96 TERROINE (F.) et ZUNTZ (E.). — Le métabolisme de base (Les problèmes biologiques). Presses universitaires, Paris, 1925.
- 97 THORE (J.). — Algues des eaux thermales de Dax. Bull. Soc. Borda de Dax. 1885.
- 98 TILDEN (J.). — a) Observations en some thermal West américain thermal Algae. The Bot. Gaz. Chicago. XXV, 1898.
b) Minnesota Algae. Minnéapolis. 1910.
- 99 TRUE (R. H.) and BARTLETT (H.-H.). — a) The exchange of Ions between the roots of *Lupinus albus* and culture solution containing one nutrient salt. Amer. Journ. of Bot. T. II, 1915, p. 255-278.
b) The exchange of ions between the roots of *Lupinus albus* and culture solution containing two nutrients salts. Amer. Journ. of Bot. T. II, 1915, p. 311-322.
c) The exchange of ions between the roots of *Lupinus albus* and culture solution containing three nutrients salts. Amer. Journ. of Bot. T. III, 1916, p. 47-57.
- 100 VAN RYSSELBERGHE. — Influence de la température sur la perméabilité du protoplasme vivant pour l'eau et les substances dissoutes. Bull. Acad. Roy. de Belgique. Sciences T. V, 1901, p. 173-221.
- 101 VELTEN (W.). — Die Einwirkung der Temperatur auf die Protoplasma-bewegung. Florã. vol. 59, 1876, p. 209.
- 102 VESQUE (J.). — De l'influence de la température du sol sur l'absorption de l'eau par les racines. Ann. Sc. Nat. Botanique, série 6, T. VI. 1877, p. 237.
- 103 VILHELM (J.). — a) Nouveau Chara d'eau thermale et radioactive des bains de Piestany, en Slovaquie. Bull. inter. Ac. Sc. Bohême. 1923.
b) La végétation thermale de Piestany et d'autres sources chaudes de la Slovaquie; ses relations avec la radioactivité de ces thermes. Publ. Fac. Sc. Univ. Charles, n° 8. Prague, 1924.

- 104 VILLARET et BESANÇON. — La vie des boues thermales. *Conf. Journées médicales de Dax*, nov. 1929.
- 105 VOUK (V.). — a) Untersuchungen über die Bewegung der Plasmodien. II Studien über die Protoplasmaströmung. *Denkschriften der Math. Naturwiss. Anat. und Entwicklungsmech.* Vol. 98, 1912, p. 121.
- b) Biologische Untersuchungen der Thermalquellen von Zagorje in Kroatien *Bull. Trav. Cl. Sc. mat. et Natur. Acad. Sc. et des Arts des Slaves du Sud.* Zagreb. b. T. 5, 1916, p. 97.
- c) Recherches biologiques sur les eaux thermales de Croatie et Slovénie. *Jugosl. Akad. Znan.* Zagreb 1919.
- d) Limites thermales du *Mastigocladus laminosus*. *Spomenice.* 50-godisujice Prof. Rada. Belgrade. 1922, en croate.
- e) Die Probleme der Biologie der Thermen. *Int. Rev. d. Ges. Hydr. u. Hydrogr.* II. 1923, p. 88-99.
- f) Un'aggiunta alla biologica dell'alga termale *Mastigocladus laminosus*. *Nuova Notarisia.* XXXVI. 1925.
- g) On the origin of the thermal flora. *Proc. Intern. Cong. Plants Sc.* Ithaca. 1926.
- 106 DE VRIES (H.). — Sur la mort des cellules végétales, par l'effet d'une température élevée. *Arch. Néerlandaises d. Sc. Exact. et Nat.* Vol. 6, 1871, p. 245.
- 107 WEHMER (C.). — Die Pflanzenstoffe. Fischer 1911.
- 108 WORONIKHIN (N.-N.). — a) Novy vidy vodoroslei s Kavkoza. I. *Algae nonnulae novae e Caucaso.* *Notul. Syst. ex. Inst. Crypt. Horti. Bot. Petropolitani* T. 27. Petrograd. 1923. p. 97-100.
- b) Esquisse de la végétation des lacs salés des environs de Piatigorsk. *Trav. Inst. baln. des eaux minér. du Caucase.* III. 1926.
- c) Matériaux pour la flore algologique et la végétation des sources minérales du Caucase. *Jubilé Borodine.* 1927.
- 109 YAMAHA (G.). — Über die Wirkung des destillierten Wassers auf die Wurzelspitzenzellen von *Vicia Faba* bei verschiedenen Temperaturen. *Journ. Coll. of Sc. Imp. Univ. Tokio*, Sect. III, Bot. Vol. II, 1927.

INDEX DES FIGURES ET PLANCHES

Fig. 1. — Appareil de stérilisation des graines.....	12
Fig. 2. — Formes des plantules de Pois à différentes températures.....	21
Fig. 3. — Forme des chondriocotes à différentes températures chez <i>Tulipa suaveolens</i>	34
Fig. 4. — Aspect et coloration du chondriome d' <i>Allium Cepa</i> , à différentes températures	35
Fig. 5. — Variation du cytoplasme de la cellule épidermique d' <i>Allium Cepa</i> sous l'influence de la température.....	37
Fig. 6. — Aspect d'une vacuole sphérique à différentes températures.....	38
Fig. 7. — Vacuome de la cellule épidermique d'une jeune feuille d' <i>Iris germanica</i> , à différentes températures.....	pl. 1
Fig. 8. — Aspect du noyau et des caryocinèses aux différentes températures de germination.....	pl. 2
Fig. 9. — Différentes télophases à 36°.....	pl. 3
Fig. 10. — Répartition des chromosomes dans une cellule à 36°.....	pl. 3
Fig. 11. — Tailles des noyaux et aspects du nucléole à différentes températures.....	pl. 4
Fig. 12. — Aspects et tailles des chromosomes à différentes températures...	58
Fig. 13. — Aspects des plastes au fond noir avant et après échauffement (épiderme d' <i>Iris germanica</i>).....	pl. 5
Fig. 14. — Aspects du noyau au fond noir avant, pendant et après échauffement. (Même cellule).....	pl. 5
Fig. 15. — Diagramme représentatif des zones thermiques de vie des principales Algues thermales	169
Fig. 16. — Coupe synthétique d'un bourrelet d'Algues thermales à Chaudesaigues	172
Fig. 17. — Formes du <i>Mastigocladus laminosus</i> aux différentes températures	179

INDEX DES TABLEAUX

Tableaux I, II, III. — Croissance de <i>Pisum Sativum</i> à diverses températures	16, 17,	18
Tableau IV. — Vitesse des chloroplastes dans la feuille d' <i>Elodea canadensis</i>		41
Tableau V. — Vitesse des chloroplastes et des granules cytoplasmiques dans la même feuille		43
Tableau VI. — Vitesse des chloroplastes d' <i>Elodea canadensis</i> pendant l'échauffement jusqu'à 41°, puis refroidissement		47
Tableau VII. — Vitesse des mouvements protoplasmiques chez <i>Chara foetida</i>		48
Tableau VIII. — Vitesse des mouvements protoplasmiques dans une cellule du poil épidermique de <i>Cucurbita pepo</i>		50
Tableau IX. — Vitesse des mouvements protoplasmiques dans la cellule épidermique de la feuille d' <i>Iris germanica</i>		50
Tableau X. — Comparaison des résultats pour les mouvements protoplasmiques		56
Tableau XI. — Poids secs et poids frais des organes de <i>Pisum sativum</i> dans des conditions normales		76
Tableau XII. — Poids secs et poids frais pour KCl		83
Tableau XIII. — Absorption du potassium de KCl		86
Tableau XIV. — Absorption du chlore de KCl		87
Tableau XV. — Substances ammoniacales à 35° dans le milieu avec KCl ..		88
Tableau XVI. — Poids secs et poids frais pour NH ⁴ Cl		89
Tableau XVII. — Absorption de l'azote ammoniacal de NH ⁴ Cl		92
Tableau XVIII. — Absorption du chlore de NH ⁴ Cl		93
Tableau XIX. — Poids secs et poids frais pour NaCl		94
Tableau XX. — Absorption du sodium de NaCl		96
Tableau XXI. — Absorption du chlore de NaCl		97
Tableau XXII. — Substances ammoniacales à 35° dans le milieu avec NaCl		98
Tableau XXIII. — Poids secs et poids frais pour NO ³ K		100
Tableau XXIV. — Absorption du potassium de NO ³ K		102
Tableau XXV. — Absorption de l'azote nitrique de NO ³ K		103
Tableau XXVI. — Substances ammoniacales à 35° dans le milieu à NO ³ K ..		105
Tableau XXVII. — Poids secs et poids frais pour NO ³ NH ⁴		106
Tableau XXVIII. — Absorption de l'azote ammoniacal de NO ³ NH ⁴		108
Tableau XXIX. — Absorption de l'azote nitrique de NO ³ NH ⁴		109
Tableau XXX. — Poids secs et poids frais pour NO ³ NH ⁴ , après mort brutale par la chaleur		112
Tableau XXXI. — Quantités d'azote ammoniacal et d'azote nitrique dans les mêmes conditions que précédemment		113
Tableau XXXII. — Poids secs et poids frais pour SO ⁴ K ²		116
Tableau XXXIII. — Absorption du potassium de SO ⁴ K ²		118

Tableau XXXIV. — Absorption de l'acide sulfurique de SO^4K^2	118
Tableau XXXV. — Substances ammoniacales à 35° dans le milieu avec SO^4K^2	120
Tableau XXXVI. — Poids secs et poids frais pour $\text{SO}^4(\text{NH}^4)^2$	121
Tableau XXXVII. — Absorption de l'azote ammoniacal de $\text{SO}^4(\text{NH}^4)^2$..	123
Tableau XXXVIII. — Absorption de l'acide sulfurique de $\text{SO}^4(\text{NH}^4)^2$	123
Tableau XXXIX. — Poids secs et poids frais pour PO^4KH^2	126
Tableau XL. — Absorption du potassium de PO^4KH^2	128
Tableau XLI. — Absorption de l'acide phosphorique de PO^4KH^2	129
Tableau XLII. — Substances ammoniacales à 35° dans le milieu, avec PO^4KH^2	130
Tableau XLIII. — Poids secs et poids frais pour $\text{PO}^4\text{H}^2\text{NH}^4$	131
Tableau XLIV. — Absorption de l'azote ammoniacal de $\text{PO}^4\text{H}^2\text{NH}^4$	133
Tableau XLV. — Absorption de l'acide phosphorique de $\text{PO}^4\text{H}^2\text{NH}^4$	134
Tableau XLVI. — Tableau récapitulatif des coefficients de température...	136
Tableau XLVII. — Tableau récapitulatif des taux d'hydratation	138
Tableau XLVIII. — Tableau récapitulatif de l'absorption de l'azote ammoniacal chez les sels ammoniacaux	139
Tableau XLIX. — Tableau récapitulatif des quantités de substances ammoniacales chez les sels non ammoniacaux	140
Tableau L. — Tableau récapitulatif de l'absorption du potassium chez les sels potassiques	141
Tableau LI. — Tableau récapitulatif des comparaisons des sels à même acide	142
Tableau LII. — Absorption du sodium par les Algues thermales à différentes températures	181

INDEX DES GRAPHIQUES

Graphique 1. — Courbes de croissance de la racine de <i>Pisum sativum</i> , à différentes températures.....	19
Graphique 2. — Courbes de croissance de la tige de <i>Pisum sativum</i> , à différentes températures.....	20
Graphique 3. — Courbe des vitesses des chloroplastes d' <i>Elodea canadensis</i> suivant la température.....	42
Graphique 4. — Courbes des vitesses des chloroplastes et des granules cytoplasmiques chez la même plante à différentes températures.....	44
Graphique 5. — Courbes représentatives des vitesses des chloroplastes d' <i>Elodea canadensis</i> , pendant échauffement jusqu'à 41°, puis refroidissement	46
Graphique 6. — Courbe des vitesses protoplasmiques chez <i>Chara foetida</i> , en fonction de la température.....	49
Graphique 7. — Même courbe pour les mouvements protoplasmiques du poil de <i>Cucurbita pepo</i> . Même courbe pour la cellule épidermique de la feuille d' <i>Iris germanica</i>	52
Graphiques 8, 9, et 10. — Rapports des poids secs et des poids frais des racines, tiges et graines de <i>Pisum sativum</i> , à 17 et 35°, pour KCl.....	81
Graphique 11. — Absorption à 17 et à 35° de K, pour KCl.....	86
Graphique 12. — Absorption à 17 et à 35° de Cl, pour KCl.....	87
Graphiques 13, 14 et 15. — Rapports des poids secs et frais pour NH_4Cl ...	90
Graphique 16. — Absorption de l'azote ammoniacal de NH_4Cl	92
Graphiques 17, 18 et 19. — Rapports des poids secs et frais pour NaCl.....	95
Graphique 20. — Absorption du sodium pour NaCl.....	97
Graphiques 21, 22, 23. — Rapports des poids secs et frais pour NO_3K	101
Graphique 24. — Absorption du potassium de NO_3K	103
Graphique 25. — Absorption de l'azote nitrique de NO_3K	104
Graphiques 26, 27, 28. — Rapports des poids secs et frais pour NO_3NH_4 ...	107
Graphique 29. — Absorption de l'azote ammoniacal de NO_3NH_4	109
Graphique 30. — Absorption de l'azote nitrique de NO_3NH_4	110
Graphiques 31, 32, 33. — Rapports des poids secs et frais pour SO_4K_2	117
Graphique 34. — Absorption du potassium de SO_4K_2	119
Graphique 35. — Absorption de l'acide sulfurique de SO_4K_2	119
Graphiques 36, 37, 38. — Rapports des poids secs et frais pour $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$...	122
Graphique 39. — Absorption de l'azote ammoniacal de $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$	124
Graphique 40. — Absorption de l'acide sulfurique de $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$	124
Graphiques 41, 42, 43. — Rapports des poids secs et frais pour PO_4KH_2	127
Graphique 44. — Absorption du potassium de PO_4KH_2	128
Graphique 45. — Absorption de l'acide phosphorique de PO_4KH_2	129
Graphiques 46, 47, 48. — Rapports des poids secs et frais pour $\text{PO}_4\text{H}_2\text{NH}_4$.	132
Graphique 49. — Absorption de l'azote ammoniacal de $\text{PO}_4\text{H}_2\text{NH}_4$	133
Graphique 50. — Absorption de l'acide phosphorique de $\text{PO}_4\text{H}_2\text{NH}_4$	134
Graphique 51. — Absorption du sodium par les Algues thermales.....	182

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	5
-------------------	---

PREMIÈRE PARTIE

Influence de la température sur la croissance de <i>Pisum sativum</i>...	9
CHAPITRE I ^{er} . — Historique.....	9
CHAPITRE II. — Technique.....	11
CHAPITRE III. — Résultats expérimentaux.....	15

DEUXIÈME PARTIE

Température et constituants cellulaires.....	23
CHAPITRE I ^{er} . — Historique	23
CHAPITRE II. — Recherches sur le cytoplasme et le noyau	30
I. Techniques.....	30
II. Température et mitochondries.....	33
III. Température et vacuome	37
IV. Température et mouvements cytoplasmiques	39
V. Température et noyau	54
VI. Études ultramicroscopiques.....	61
CHAPITRE III. — Conclusions générales de l'étude cellulaire.....	65

TROISIÈME PARTIE

Température et échanges chimiques avec le milieu chez <i>Pisum sativum</i>.....	67
CHAPITRE I ^{er} . — Historique.....	67
CHAPITRE II. — Techniques des cultures	72
CHAPITRE III. — Méthode de dosage	78
CHAPITRE IV. — Étude des différents sels minéraux employés et résultats par sel.....	83
CHAPITRE V. — Comparaison générale des résultats	136
CHAPITRE VI. — Conclusions générales de l'étude chimique.....	144

QUATRIÈME PARTIE

Les végétaux vivant dans les eaux à températures naturellement élevées.....	147
CHAPITRE I ^{er} . — Historique	147
CHAPITRE II. — Recherches personnelles sur quelques stations thermales françaises	152

202 ACTION DE LA TEMPÉRATURE SUR LES VÉGÉTAUX

CHAPITRE III. — Études expérimentales	176
CHAPITRE IV. — Conclusions générales de l'étude des Algues thermales.....	185
RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS D'ENSEMBLE.....	187
BIBLIOGRAPHIE.....	189
INDEX DES FIGURES ET PLANCHES.....	197
INDEX DES TABLEAUX.....	198
INDEX DES GRAPHIQUES.....	200
TABLE DES MATIÈRES	201

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

- 1^o Les animaux vivant dans les eaux thermales.
 - 2^o Stratigraphie et Tectonique du Pays de Bray.
-

Vu et approuvé :

Paris, le 3 avril 1933.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

C. MAURAIN

Vu et permis d'imprimer.

Le Recteur de l'Académie de Paris.

S. CHARLÉTY

ERRATUM

Page 49, dernière ligne, lire cellule mucronale et non mucinale

Page 52, 8^e ligne, lire ultramicroscope et non ultra microscope.

Page 68, 4^e ligne partant du bas, lire série et non sere.

Page 103, tableau XXV, 4^e colonne, lire $\frac{K}{NO^3}$ et non $\frac{K}{NO^4}$

Page 130, 1^{re} ligne lire $PO^4H^2NH^4$ et non $P^4H^2NH^4$.

Page 149, placer la 6^e ligne en partant du bas entre la 10^e et la 9^e ligne en partant du bas.

Page 162, 10^e ligne, lire Frémy et non Fremv.

IMPRIMERIE
NEMOURIENNE

ANDRÉ LESOT
3, Rue des Pliants, 3
NEMOURS (S.-&-M.)
